

CULCYT

CULTURA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA • ISSN 2007-0411



VOLUMEN 22 | NÚMERO 2

MAYO - AGOSTO 2025

Dr. Daniel Constandse Cortez
RECTOR

Dr. Salvador David Nava Martínez
SECRETARIO GENERAL

Mtra. Guadalupe Gaytán Aguirre
SECRETARIA ACADÉMICA

Dr. Edwin Adán Martínez Gómez
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Mtra. Mayola Renova
COORDINADORA GENERAL EDITORIAL Y DE PUBLICACIONES

Dr. Manuel Antonio Ramos Murillo
EDITOR EN JEFE DE CULCYT

Comité Editorial

Dr. Manuel Antonio Ramos Murillo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
Editor en Jefe

Mtro. Raúl Alfredo Meza González
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
Coordinador Editorial

Dr. Víctor Manuel Castaño Meneses
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Ramón Gerardo Guevara González
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Dra. Klavdia Oleschko Lutkova
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Abdiel Ramírez Reyes
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Dra. Santos Adriana Martel Estrada
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Dr. David Cortés Sáenz
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Dr. David Ortega Gaucín
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

CULCYT se fundó en diciembre de 2003 como parte del programa para la formación de investigadores del Instituto de Ingeniería y Tecnología. Lanzó su primer número en abril de 2004. Fundador: Dr. Victoriano Garza Almanza.

CULCYT. CULTURA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Volumen 22, número 2, mayo-agosto 2025, es una publicación académica, editada de manera cuatrimestral por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a través del Instituto de Ingeniería y Tecnología.

D.R. © UACJ, Avenida del Charro núm. 619 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Editor responsable: Dr. Manuel Antonio Ramos Murillo

Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2022-101711332100-102.

ISSN (electrónico): 2007-0411.

Sitio OJS: erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt. Correo electrónico: culcyt@uacj.mx. Teléfono +52 (656) 6884848.

[DOI: 10.20983/culcyt.2025.2](https://doi.org/10.20983/culcyt.2025.2)

Modalidad de publicación continua. Tan pronto como un artículo ha sido preparado, se publica en línea.

Los trabajos a publicar en CULCYT deben ser originales e inéditos. En este momento, la revista no tiene costos de publicación para los autores.

El acceso a la revista es libre, sin requerimientos, bajo lo establecido en la normatividad mexicana de acceso abierto, y se da a través de su sitio

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt>

o mediante el Repositorio Institucional de la UACJ

<http://ri.uacj.mx/vufind/>



UACJ | Repositorio Institucional

Los artículos firmados son responsabilidad de sus autores.

Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite la fuente.

Información para autores:

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/autores>

Los contenidos e imágenes de la publicación están sujetos a una licencia CC 4.0 internacional BY NC.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE CIUDAD JUÁREZ

latindex

Dialnet

Artículos de investigación
Research articles

-
- [El diario matemático como estrategia para desarrollar habilidades en la suma](#) **4**
Mathematical journal as strategy to develop skills in learning addition
Claudia Elsa Lazo Olivas, Héctor Jesús Portillo Lara, María de los Ángeles Cruz Quiñones, Danelly Susana Esparza Puga

- [Ecuaciones de planos tangentes utilizando GeoGebra](#) **12**
Equations of tangent planes using GeoGebra
Carlos López Ruvalcaba, Héctor Jesús Portillo Lara, María de los Ángeles Cruz Quiñones, Lucero Sáenz Coronado

**Edición Especial “Integración
e Innovación hacia un
Desarrollo Sustentable”**
Special Edition “Integration
and Innovation towards
Sustainable Development”

-
- [Presentación](#) **E1**

Presentation
Georgina Elizabeth Riosvelasco Monroy

- [Diseños industriales de muebles, bajo consideraciones de economía circular
y su transferencia tecnológica](#) **E2**

Furniture designs under circular economy considerations and their technological transfer
Vladimir Becerril Mendoza, Virginia Karina Rosas Burgos, Alex Bernardo Pimentel Mendoza, Yirandy Josué Rodríguez León

- [Estudio de calidad de la energía en una industria en Ciudad Juárez, México](#) **E13**

Power quality study in an industry in Ciudad Juarez, Mexico
Luis Edwin López López, Francisco Javier Enríquez Aguilera, Abel Eduardo Quezada Carreón, David García Chaparro, Jesús Martín Silva Aceves

- [Genetic Algorithms and Repurposed Electronics: Revolutionizing E-Waste
Mitigation](#) **E26**

Algoritmos genéticos y electrónica reutilizada: Revolucionando la mitigación de residuos electrónicos
Michael Dorin

- [Análisis de correlación: proyectos de tecnología social y percepción del
estado de bienestar, Ciudad Juárez: 2010-2020](#) **E30**

Correlation Analysis: Social Technology Projects and Perception of the Welfare State, Ciudad Juarez: 2010-2020
Jorge Alejandro Quijano Quián, Iván Juan Carlos Pérez Olguín

- [Aprovechamiento de residuos orgánicos en cafeterías industriales de Ciudad
Juárez a través de un biodigestor](#) **E41**

Utilization of Organic Waste in Industrial Cafeterias in Ciudad Juárez Through a Biodigester
Carmen Guadalupe Argüelles Argüelles, Luis Escalante Bencomo, Mariela Álvarez Argüelles, Iván Juan Carlos Pérez Olguín

- [Inteligencia artificial para un diagnóstico accesible en la identificación del
melanoma y otras lesiones](#) **E50**

Artificial intelligence for accessible diagnosis in the identification of melanoma and other skin lesions
Verónica Angélica Villalobos Romo, Soledad Vianey Torres Argüelles, José David Díaz Román

- [La sostenibilidad y la mejora continua](#) **E60**

Sustainability relating to continuous improvement
Cristina Zapien Guerrero, Erick Gerardo Molina Castañeda

- [Revisión sistemática de índices enfocados en el efecto de la migración en el
desarrollo sostenible](#) **E67**

Systematic review of migration factors that impact sustainable development
Gabriela Alvarez Vega, Soledad Vianey Torres Argüelles, Salvador Noriega Morales, Aurora Irma Máñez Guaderrama

- [Sistema IoT de monitoreo y control inteligente para cama de cría de lombriz
californiana](#) **E78**

IoT system for intelligent monitoring and control of Californian worm breeding beds
Diana Alejandra Ortega Castillo, Dr. Israel Ulises Ponce Monárrez

El diario matemático como estrategia para desarrollar habilidades en la suma

Mathematical journal as strategy to develop skills in learning addition

Claudia Elsa Lazos Olivas¹ , Héctor Jesús Portillo Lara¹  , María de los Ángeles Cruz Quiñones¹ ,
Danelly Susana Esparza Puga¹ 

¹ Maestría en Matemática Educativa y Docencia, Departamento de Física y Matemáticas, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

En el presente trabajo se explora el uso del diario matemático como estrategia didáctica para desarrollar habilidades en la suma en estudiantes de segundo grado de primaria. La intervención se realizó en un grupo de 28 estudiantes de una escuela primaria de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, a quienes se les asignó un cuaderno específico para documentar problemas de suma basados en situaciones cotidianas. La metodología incluyó actividades iniciales, aumento en la complejidad de los problemas y contextualización en escenarios prácticos. Los resultados indican que esta herramienta no solo mejoró las habilidades numéricas, sino que también fomentó el pensamiento crítico y la motivación hacia las matemáticas. Los estudiantes mostraron mayor disposición para participar y contextualizaron problemas matemáticos en su vida diaria, lo cual facilitó un aprendizaje significativo. Este enfoque innovador aporta valor al considerar tanto el contexto sociocultural de los alumnos como sus experiencias cotidianas, promoviendo un aprendizaje más inclusivo. La implementación del diario matemático como recurso pedagógico demostró ser efectiva para mejorar las competencias en la suma y fortalecer el compromiso de los estudiantes hacia las matemáticas.

PALABRAS CLAVE: suma; segundo grado; contextualización; motivación; aprendizaje significativo.

ABSTRACT

This paper explores the use of the mathematical journal as a teaching strategy to develop addition skills in second-grade elementary school students. The intervention was carried out with a group of 28 students from an elementary school in Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico, who were assigned a specific notebook to document addition problems based on everyday situations. The methodology included initial activities, increasing the complexity of the problems, and contextualizing them in practical scenarios. The results indicate that this tool not only improved numerical skills but also fostered critical thinking and motivation toward mathematics. Students showed greater willingness to participate and contextualized mathematical problems in their daily lives, which facilitated meaningful learning. This innovative approach adds value by considering both the students' sociocultural context and their daily experiences, promoting more inclusive learning. The implementation of the mathematical journal as a teaching resource proved effective in improving addition skills and strengthening students' commitment to mathematics.

KEYWORDS: addition; second grade; contextualization; motivation, meaningful learning.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Héctor Jesús Portillo Lara
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Ave. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: hector.portillo@uacj.mx

Fecha de recepción: 12 de febrero de 2025. **Fecha de aceptación:** 29 de abril de 2025. **Fecha de publicación:** 9 de mayo de 2025.



I. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de las matemáticas en la educación primaria es un tema de vital importancia, ya que contribuye al desarrollo de habilidades que pueden ser útiles para los estudiantes en su trayectoria académica y profesional. La enseñanza de la suma, siendo una de las primeras operaciones matemáticas que los alumnos aprenden, puede contribuir al desarrollo de habilidades numéricas y lógicas. Sin embargo, a pesar de su simplicidad aparente, la suma presenta desafíos significativos que pueden limitar la comprensión de los estudiantes.

Investigaciones previas han demostrado que el dominio de la suma es un insumo básico y necesario para el éxito en matemáticas más avanzadas, como en la multiplicación y la resolución de problemas complejos [1].

Por otro lado, el contexto socioeconómico de los estudiantes juega un papel crucial en su aprendizaje matemático. Según Rodríguez *et al.* [2], los estudiantes de entornos desfavorecidos a menudo carecen de acceso a recursos educativos adecuados, lo que puede crear una brecha en las habilidades matemáticas desde una edad temprana. La falta de apoyo en el hogar y el acceso limitado a materiales manipulativos también contribuyen a este fenómeno.

Ante estos desafíos, es fundamental que los docentes apliquen estrategias innovadoras, siendo estas acciones novedosas para los estudiantes que logren despertar el interés en el trabajo que se les presenta, además de que sean de largo plazo y que vayan más allá de la memorización de algoritmos. Un ejemplo de ellas es el diario matemático, la cual consiste en asignar de manera exclusiva un cuaderno para escribir diariamente cada una de las situaciones a las que se enfrentaron de manera cotidiana y cuya solución se obtiene mediante la resolución de una suma, por lo tanto, permite a los estudiantes practicar la suma a través de situaciones reales y significativas para ellos. Esta intervención no solo busca mejorar las habilidades numéricas, sino también fomentar un ambiente de aprendizaje donde los estudiantes puedan desarrollar sus prácticas sociales, emocionales, así como el pensamiento crítico, que les serán útiles a lo largo de su vida.

La presente intervención se centra en la implementación del diario matemático en una escuela primaria pública en México, durante el ciclo escolar 2023-2024. A través de esta, se pretende observar cómo los estudian-

tes desarrollan sus habilidades en la suma, aplicándola para resolver problemas de la vida real y promoviendo un aprendizaje significativo.

1.1. APRENDIZAJE DE LA SUMA

El campo de la educación matemática ha sido objeto de numerosas investigaciones, algunas de las cuales exploran cómo los estudiantes adquieren y desarrollan sus habilidades matemáticas. El aprendizaje de la suma es relevante en los primeros años de educación. Por ello, existen hallazgos que respaldan la necesidad de estrategias pedagógicas e innovadoras para su enseñanza y, por otro lado, las dificultades en el aprendizaje de la suma en experiencias iniciales de los estudiantes pueden afectar su percepción sobre las matemáticas.

Henik [3] destaca que los estudiantes de entornos socioeconómicos desfavorecidos enfrentan desafíos adicionales en el aprendizaje de las matemáticas. Según él, es fundamental que los educadores reconozcan estas desigualdades y adopten estrategias que sean accesibles y relevantes para todos los estudiantes. La necesidad de adoptar métodos inclusivos es particularmente importante si se considera que los enfoques tradicionales, como los que simplifican la suma en pasos mecánicos, son insuficientes para desarrollar una comprensión profunda. Price [4] sugiere que, en lugar de limitarse a estos métodos, se podrían implementar estrategias que permitan a los estudiantes explorar las relaciones entre los números, enfatizando la relación entre la experiencia de los alumnos y la resolución de problemas y facilitando una comprensión más significativa de los conceptos matemáticos.

Por otro lado, la teoría de la etnomatemática resalta la importancia de reconocer y valorar las diversas formas en que las matemáticas se manifiestan en diferentes culturas, permitiendo que los estudiantes reconozcan sus propias experiencias y antecedentes culturales como válidos y significativos en el aprendizaje de las matemáticas, lo que puede mejorar tanto su motivación como su conexión con los contenidos. En este sentido, el uso de objetos manipulativos y visuales en la enseñanza de la suma se ha mostrado efectivo para facilitar la comprensión de conceptos abstractos. Escalona *et al.* [5] argumentan que materiales concretos, como bloques o fichas, permiten a los estudiantes visualizar y manipular las cantidades, promoviendo así una comprensión más tangible del proceso de suma.

Finalmente, la motivación emerge como un factor esencial en el aprendizaje de las matemáticas. Angulo *et al.* [6] enfatizan que los estudiantes deben ver las matemáticas como una herramienta útil para organizar y comprender su realidad. Incorporar contextos familiares y significativos en la enseñanza de la suma permite a los docentes no solo hacer que el aprendizaje sea más relevante, sino también incrementar el interés y la participación de los estudiantes en el aula. De esta manera, se fortalece un enfoque pedagógico que considera la diversidad cultural y socioeconómica, al tiempo que fomenta una comprensión sólida y significativa de los conceptos matemáticos.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INTERVENCIÓN

La enseñanza de la suma es una de las primeras operaciones formales que los estudiantes enfrentan en su educación matemática. Aquí se establecen las bases para habilidades más avanzadas, como la multiplicación, la división y la resolución de problemas. Henik [3] señala que muchos estudiantes enfrentan bloqueos cuando se trata de aplicar sumas en contextos reales, debido a la falta de comprensión profunda del concepto de la suma.

En este contexto, se propone el uso del diario matemático como una estrategia pedagógica innovadora que permite a los estudiantes practicar la suma a través de situaciones cotidianas y relevantes para ellos. Este enfoque busca no solo mejorar las habilidades numéricas, sino también fomentar una actitud positiva hacia las matemáticas, al mostrar a los estudiantes que la suma tiene aplicaciones prácticas en su vida diaria. Según Price [4], la enseñanza de la suma debe presentarse como una herramienta útil, no como una tarea aislada o abstracta, lo que ayuda a los estudiantes a internalizar los conceptos y aplicarlos con confianza.

Además, esta intervención en la que se utiliza el diario matemático como estrategia innovadora permite observar y registrar de manera continua el progreso de los estudiantes a lo largo del ciclo escolar, proporcionando una visión más clara del desarrollo de sus habilidades. El uso del diario matemático también facilita la identificación de áreas específicas en las que cada estudiante puede necesitar apoyo adicional, lo que hace posible personalizar la enseñanza y atender las necesidades individuales de los alumnos.

El diseño de esta estrategia se sustenta en la importancia de contextualizar las matemáticas, como lo sugieren Parra [7] y Angulo *et al.* [6]. A través del diario matemático, los estudiantes pueden relacionar la resolución de sumas con sus experiencias cotidianas, lo que incrementa su motivación y compromiso, elementos clave para el éxito académico en matemáticas.

II. METODOLOGÍA

La intervención se llevó a cabo en la escuela primaria Fidel Ávila, ubicada en Ciudad Juárez, Chihuahua, del turno matutino, ubicada en un contexto socioeconómico medio-bajo y atiende a una población estudiantil diversa, distribuida en 12 grupos de primero a sexto grados.

El grupo seleccionado para esta intervención fue el segundo grado "A", conformado por 28 alumnos (18 niñas y 10 niños), cuyas edades oscilan entre los seis y siete años. La mayoría de los estudiantes provienen de hogares en los que al menos uno de los padres tiene estudios de secundaria, aunque hay casos donde las limitaciones educativas son evidentes. Esta diversidad cultural y educativa en el aula plantea retos y oportunidades para la enseñanza de las matemáticas.

2.1. PARTICIPANTES

Para garantizar que la intervención fuera eficaz, se realizó una evaluación diagnóstica antes de su inicio. El examen consistió en 30 preguntas de opción múltiple que abordaron problemas matemáticos en el contexto de una granja. Se incluyeron dibujos en las preguntas y respuestas. Las cuestiones abarcaron desde tipo de cuantificadores, números, secuencias de números, suma y figuras geométricas. Esta evaluación permitió identificar el nivel de competencias matemáticas de cada estudiante en relación con la suma y detectar áreas específicas donde se requería apoyo adicional.

La evaluación aplicada fue proporcionada por el Consejo Nacional para el Mejoramiento Continuo de la Educación (MEJOREDU), el cual desarrolla proyectos de diagnóstico, formativos y de evaluación integral de carácter contextualizado, que incluyen recomendaciones para el mejoramiento de la práctica pedagógica.

Las respuestas de cada uno de los alumnos se capturaron en una plataforma, elaborada por el MEJOREDU y

de manera automática mostró los resultados de dichas evaluaciones. En este caso, en la [Figura 1](#) se observan los resultados obtenidos por los alumnos de segundo grado al iniciar el ciclo. Los resultados se interpretan de la manera siguiente:

- Nivel I (color rojo) significa insuficiente.
- Nivel II (color amarillo) significa básico.
- Nivel III (color verde) significa satisfactorio.
- Nivel IV (color azul) significa sobresaliente.

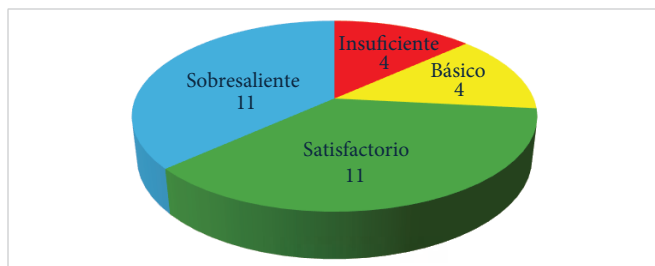


Figura 1. Resultados de la evaluación diagnóstica.

Se advierte que existe un ligero rezago en matemáticas, pues 4 de los 28 alumnos se encuentran en un nivel insuficiente. Se observó también que muchos alumnos mostraban un buen dominio de los números hasta 100, pero varios tenían dificultades con operaciones de suma más complejas.

La intervención se implementó en el grupo completo. Cabe mencionar que por situaciones personales 2 de los alumnos se dieron de baja, quedando solo 28 alumnos que fue con lo que se trabajó el resto del ciclo escolar. Sin embargo, para la evaluación y registro de resultados se eligió a 6 participantes que destacaron por algún rubro diferente al resto del grupo en general y fueron evaluados mediante una rúbrica que mostró los aspectos más significativos del diario matemático.

2.2. DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN

La intervención se centró en el uso del diario matemático como una herramienta pedagógica para practicar la suma en situaciones de la vida real. El diseño de la intervención incluyó las siguientes fases:

Actividades iniciales

Durante los meses de septiembre y octubre, se pidió a los estudiantes que escribieran problemas que se resolvieran utilizando una suma y que los resultados fueran

menores a 100, con la finalidad de que los alumnos aplicaran los conocimientos con los que se contaban hasta el momento.

Progresión en la complejidad

A medida que los estudiantes avanzaron en sus diferentes temas y que se abordó en clase el contenido de la serie numérica hasta el 999, en los meses de noviembre y diciembre se solicitaron sumas más complejas con resultados superiores a 100 y menores de 999. Esto implicó no solo la suma de dos números, sino también la transformación de unidades y decenas. Los alumnos fueron desafiados a abordar problemas que requirieran razonamiento y planificación, promoviendo así un aprendizaje más profundo.

Contextualización y aplicaciones prácticas

En los meses de enero a marzo, la intervención incluyó actividades prácticas que simulaban situaciones de la vida real. Se establecieron dos entornos significativos: una papelería y un supermercado. Los estudiantes debían asignar precios reales a productos y resolver problemas relacionados con compras. Esto no solo hizo que los problemas fueran más relevantes, sino que también fomentó el desarrollo de habilidades de resolución de problemas en un contexto práctico.

Implementación del diario matemático

Cada alumno asignó un cuaderno específico para diario matemático, donde debía escribir un problema cada día. Se enfatizó la importancia de que los problemas surgieran de situaciones cotidianas, que ellos enfrentaran de manera vivencial, promoviendo así la conexión entre el aprendizaje matemático y su aplicación en la vida diaria. Se alentó a los alumnos a ser creativos en la formulación de sus problemas y a ilustrar sus soluciones con dibujos que representaran la situación planteada además de que ayudara a la resolución de estos.

Sistema de recompensas

Para incentivar la participación, se implementó un sistema de recompensas. Los alumnos podían intercambiar boletos obtenidos por la correcta realización de sus tareas por “dinero didáctico”, el cual se utilizaba para adquirir productos en la papelería del aula. Esta actividad no solo motivó a los estudiantes, sino que también

les enseñó sobre el manejo de recursos y la toma de decisiones en un entorno de compra simulado.

Evaluación del progreso

La evaluación se realizó mediante una rúbrica diseñada para medir diferentes aspectos del trabajo en el diario matemático. Los criterios incluidos fueron los siguientes:

- Contenido: cantidad de problemas escritos y resueltos.
- Claridad: organización y legibilidad de los problemas presentados.
- Expresión gráfica: uso de dibujos que ayudaran a visualizar los problemas.
- Representatividad: contextualización de los problemas en situaciones reales.
- Procedimiento: precisión en la resolución de la suma.
- Expresión del resultado: presentación del resultado en forma de enunciado.

Se llevaron a cabo observaciones cualitativas, que consistían en apreciar, durante las exposiciones diarias, el desenvolvimiento de los alumnos al momento de compartir sus problemas y soluciones con sus compañeros, donde ellos podían aprender unos de otros (Figura 2).



Figura 2. Alumno exponiendo su problema a sus compañeros. Se insertaron emoticonos para proteger la identidad de los niños.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del diario matemático permitió observar una serie de transformaciones en la forma en que los estudiantes de segundo grado abordaron la suma y las matemáticas en general. A lo largo de esta

intervención, los estudiantes fueron desarrollando nuevas estrategias y formas de pensar al resolver problemas matemáticos, lo que reveló tanto logros significativos como desafíos en su aprendizaje. Este apartado presenta los resultados obtenidos a partir de la revisión de los diarios matemáticos, así como de las observaciones de las participaciones de los alumnos en el aula. Estos resultados muestran el impacto de los recursos didácticos utilizados como herramienta para profundizar la comprensión de la suma desde edades tempranas.

3.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE PROBLEMAS

La capacidad de los estudiantes para contextualizar sus problemas matemáticos fue uno de los mayores logros de la intervención. A medida que los alumnos comenzaron a incluir elementos de su vida cotidiana en los problemas, como las compras en el supermercado o situaciones familiares, el interés por el aprendizaje aumentó notablemente.

Los problemas contextualizados permitieron que los alumnos comprendieran la utilidad de la suma en situaciones prácticas. Al abordar sumas a partir de ejemplos reales, los estudiantes mostraron una mayor disposición para participar y experimentar con la resolución de sumas. Además, esta conexión con su vida diaria fomentó un aprendizaje significativo, ya que los estudiantes pudieron ver cómo la suma se aplicaba a sus experiencias cotidianas (Figura 3).

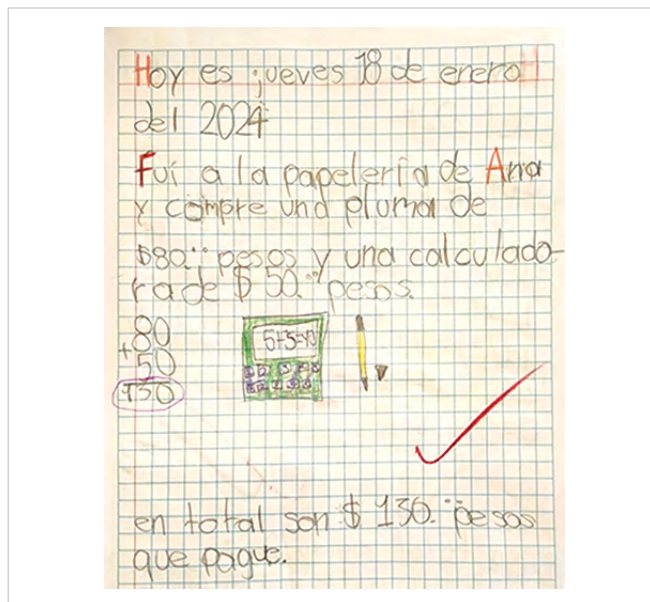


Figura 3. Problema en el que el alumno utilizó el nombre de una papelería.

3.2. DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO Y COLABORATIVO

A través de las presentaciones diarias de problemas, se evidenció un desarrollo notable del pensamiento crítico entre los alumnos. Durante estas presentaciones, los estudiantes comenzaron a hacer preguntas sobre los problemas de sus compañeros, lo que fomentó un ambiente de aprendizaje colaborativo. Los alumnos no solo resolvían problemas de manera individual, sino que también aprendían a analizar las estrategias de resolución de sus pares y a reflexionar sobre su propio proceso.

Este tipo de interacción no solo ayudó a los estudiantes a mejorar su comprensión de la suma, sino que también promovió habilidades interpersonales y de comunicación. Por ejemplo, cuando un alumno señalaba un error en el planteamiento de un problema, otros compañeros podían aportar sugerencias sobre cómo corregirlo. Esta retroalimentación constructiva enriqueció la experiencia de aprendizaje y fortaleció la cohesión del grupo.

Además, se observó que algunos estudiantes mostraron una disposición mayor a ayudar a sus compañeros en la resolución de problemas. Esta actitud refleja un crecimiento en la empatía y la colaboración, elementos fundamentales en el desarrollo social y emocional de los niños.

3.3. MOTIVACIÓN Y ACTITUD HACIA LAS MATEMÁTICAS

El sistema de recompensas implementado, donde los estudiantes podían intercambiar boletos por dinero didáctico, tuvo un impacto positivo en la motivación general del grupo. Los alumnos mostraron un gran entusiasmo al participar en las actividades, especialmente durante las exposiciones de sus problemas. El deseo de recibir reconocimiento y recompensas fomentó un compromiso activo en la tarea diaria de escribir y resolver problemas matemáticos.

A medida que avanzaba la intervención, fue notorio un cambio en la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas. Muchos alumnos que inicialmente mostraban rechazo a problemas matemáticos comenzaron a abordar las actividades de manera más participativa. Esta transformación en la actitud es un indicativo del impacto positivo que puede tener un enfoque pedagógico adaptado a las necesidades e intereses de los estudiantes.

3.4. REFLEXIONES Y TESTIMONIOS DE LOS ESTUDIANTES

Los testimonios de los estudiantes proporcionaron una perspectiva adicional sobre el impacto del diario matemático. Durante las discusiones en clase, varios alumnos expresaron que disfrutaban más de la clase de matemáticas desde que comenzaron a trabajar con sus diarios. Comentarios como “Me gusta contar las cosas que tengo en casa” y “Es divertido hacer problemas de compras” reflejan una conexión emocional positiva con la materia. Estas reflexiones subrayan la importancia de contextualizar el aprendizaje y hacer que la matemática sea relevante y accesible para los estudiantes.

Además, algunos estudiantes compartieron cómo el diario matemático les había ayudado a sentirse más seguros al resolver problemas matemáticos. Este cambio en la autopercepción es fundamental, ya que puede llevar a un mayor interés y a un mejor rendimiento en matemáticas a medida que avanzan en su educación.

3.5. ASPECTOS EMERGENTES DE LA INTERVENCIÓN

Además de los resultados previstos, surgieron varios aspectos interesantes durante la implementación del diario matemático (Figura 4), que aportaron un valor adicional al análisis del desarrollo de habilidades en los estudiantes.



Figura 4. Diarios de los alumnos.

Una tendencia inesperada fue que algunos alumnos escribieron el resultado de la suma en palabras, en lugar de números. Esta práctica, aunque no fue inicialmente alentada, demostró que los estudiantes estaban pensando de manera más creativa sobre cómo comunicar sus respuestas. También sugiere que la actividad de exponer sus problemas frente a sus compañeros fomentó en ellos una forma más creativa en la resolución de problemas.

Un alumno se destacó por no limitarse a un solo producto en las actividades de suma, especialmente en la papelería. Este estudiante combinó productos y realizó sumas más complejas, lo que indica que algunos alumnos estaban listos para avanzar hacia operaciones más desafiantes antes de lo previsto. Este tipo de exploración voluntaria resalta la flexibilidad de la estrategia del diario matemático, que permite a los estudiantes progresar a su propio ritmo.

A pesar de que el programa escolar no incluía el uso de decimales, varios estudiantes comenzaron a emplearlos cuando trabajaban con precios en el supermercado (Figuras 5 y 6). Esto fue un indicio de que estaban desarrollando una comprensión más intuitiva de los números y las operaciones. Este aprendizaje autodirigido es uno de los beneficios más valiosos de la intervención, ya que muestra cómo los estudiantes son capaces de identificar la necesidad de nuevos conceptos y aplicarlos de manera práctica, incluso sin una instrucción explícita.



Figura 5. Carpeta del supermercado con precios, utilizando decimales.

A medida que los estudiantes compartían sus problemas y soluciones con sus compañeros, comenzaron a desarrollar un sentido crítico, identificando errores en la suma o situaciones poco realistas planteadas por otros. Esta retroalimentación colaborativa enriqueció el ambiente de aprendizaje y permitió a los alumnos refinar sus habilidades de razonamiento lógico.



Figura 6. Uso de los decimales en un problema y en la suma para resolverlo.

Estos aspectos emergentes resaltan cómo la implementación de una estrategia como el diario matemático no solo puede cumplir con los objetivos académicos establecidos, sino que también puede fomentar habilidades adicionales, como la creatividad, el pensamiento crítico y la aplicación práctica de las matemáticas.

IV. CONCLUSIONES

La implementación del diario matemático como estrategia pedagógica innovadora en el aula de segundo grado ha demostrado ser una intervención eficaz para mejorar no solo las habilidades en la suma, sino también el compromiso y la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas. A lo largo del ciclo escolar 2023-2024, se observó un cambio significativo en la forma en que los alumnos abordaban los problemas matemáticos, así como en su capacidad para contextualizar las operaciones en situaciones cotidianas.

La capacidad de los estudiantes para vincular la suma con su vida diaria a través de problemas contextualizados ha demostrado que el aprendizaje de las matemáticas puede ser relevante y significativo. Esta conexión no solo facilitó la comprensión de los conceptos matemáticos, sino que también motivó a los alumnos a participar activamente en su aprendizaje.

El diario matemático promovió habilidades interpersonales entre los estudiantes, como la empatía, el trabajo en equipo y la comunicación. Al compartir y discutir sus problemas, los alumnos aprendieron a ofrecer retro-

alimentación constructiva, lo que fortaleció la cohesión del grupo y les ayudó a desarrollar un sentido de comunidad en el aula.

Los estudiantes mostraron una notable creatividad al formular sus problemas de suma. Esta capacidad para innovar no solo indica un desarrollo cognitivo, sino que también refleja un ambiente de aprendizaje en el que los alumnos se sienten libres de explorar y experimentar con conceptos matemáticos. La escritura de resultados en palabras y la formulación de problemas complejos son ejemplos de esta exploración.

La implementación del sistema de recompensas y el reconocimiento del esfuerzo y la creatividad en las tareas ayudaron a aumentar la confianza de los alumnos en sus habilidades matemáticas. Este cambio es esencial para su desarrollo académico a largo plazo.

La intervención resaltó la necesidad de que los docentes contextualicen el aprendizaje matemático. Al conectar las matemáticas con experiencias de vida reales, se logró no solo un mayor interés por las matemáticas, sino también una comprensión más profunda de los conceptos involucrados.

A partir de los hallazgos de esta intervención, se proponen varias recomendaciones para la práctica educativa y futuras investigaciones:

Se sugiere que otros docentes implementen estrategias similares, como el diario matemático, para fomentar un aprendizaje más activo y significativo. La contextualización de los problemas y el uso de materiales manipulativos pueden ser herramientas valiosas en este proceso.

Es fundamental que los docentes reciban capacitación en metodologías activas y en el uso de herramientas que promuevan la enseñanza contextualizada de las matemáticas. La formación continua puede ayudar a los maestros a desarrollar competencias para abordar la diversidad en el aula y a implementar estrategias inclusivas que beneficien a todos los estudiantes.

Establecer mecanismos para la autoevaluación y la reflexión por parte de los estudiantes sobre su propio proceso de aprendizaje puede ser beneficioso. Esto puede incluir espacios para que los alumnos compartan sus experiencias, dificultades y logros, lo que les permitirá tomar un papel más activo en su aprendizaje.

REFERENCIAS

- [1] A. Dowker, "Children's Mathematical Learning Difficulties: Some Contributory Factors and Interventions", en *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties*, A. Fritz, V. Haase y P. Rasanen, eds. Springer, 2019, pp. 773-787, doi: [10.1007/978-3-319-97148-3_44](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3_44).
- [2] M. Rodríguez, E. Filloy y B. Gómez, "Dificultades en la construcción de los números naturales incluyendo el cero con estudiantes de 6 a 8 años", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 38, n.º 3, pp. 55-80, 2019, doi: [10.5565/rev/ensciencias.2881](https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2881).
- [3] A. Henik, "Early difficulties in numerical cognition", en *Heterogeneous Contributions to Numerical Cognition*, W. Fias y A. Henik, eds. Academic Press, 2021, doi: [10.1016/B978-0-12-817414-2.00016-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817414-2.00016-6).
- [4] A. Price, "Communication, construction and community", tesis de doctorado, Universidad de Oxford, 2000.
- [5] C. M. Fernández y N. Domínguez, "La suma y la resta en Educación Infantil", *Tendencias pedagógicas*, n.º 26, pp. 319-330, 2015.
- [6] M. L. Angulo, E. Arteaga y O. Carmenate, "La significación del contexto para la formación y asimilación de conceptos matemáticos", *Universidad y Sociedad*, vol. 11, n.º 5, pp. 33-41, 2019.
- [7] H. Parra, "Claves para la contextualización de la matemática en la acción docente", *Omnia*, vol. 19, n.º 3, pp. 74-85, 2013.

Ecuaciones de planos tangentes utilizando GeoGebra

Equations of tangent planes using GeoGebra

Carlos López Ruvalcaba¹ , Héctor Jesús Portillo Lara¹ , María de los Ángeles Cruz Quiñones¹ ,
Lucero Sáenz Coronado¹ 

¹Maestría en Matemática Educativa y Docencia, Departamento de Física y Matemáticas, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

El presente trabajo brinda una propuesta para la enseñanza del tema plano tangente haciendo uso del software GeoGebra como instrumento didáctico. Se trata de obtener el mayor provecho posible de las diferentes representaciones semióticas (algebraica, gráfica y numérica) que el software es capaz de brindar, para obtener la ecuación del plano tangente a una función en $\mathbb{R}^3$. El desarrollo del trabajo es a través de ejemplos que van aumentando su complejidad en la abstracción, culminando en una generalización original fuera del discurso tradicional. Por lo general, el tema es abordado por los libros de texto haciendo uso de vectores y todo un bagaje de conceptos para lograr la ecuación buscada. Con esta metodología el alumno solo requiere conocer dos conceptos matemáticos el cálculo de límites y determinantes.

PALABRAS CLAVE: plano tangente; GeoGebra; representación semiótica; límite; determinante.

ABSTRACT

This paper provides a proposal for teaching calculus in several variables, specifically about tangent planes using the GeoGebra software as a teaching tool. It is about getting the most out of the different semiotic representations (algebraic, graphic and numerical) that the software is capable of providing, to obtain the equation of the plane tangent to a function in $\mathbb{R}^3$. The development of the work is through examples that gradually increase their complexity in abstraction, culminating in an original generalization outside the traditional discourse. In general, the subject is approached by textbooks using vectors and a whole baggage of concepts to achieve the desired equation. With this methodology, the student only needs to know two mathematical concepts such as the calculation of limits and determinants.

KEYWORDS: tangent plane; GeoGebra; semiotic representation; limit; determinant.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Carlos López Ruvalcaba
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Ave. del Charro núm. 450 norte, colonia Partido
Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: clopez@uacj.mx

Fecha de recepción: 13 de noviembre de 2024. **Fecha de aceptación:** 28 de mayo de 2025. **Fecha de publicación:** 6 de junio de 2025.



I. INTRODUCCIÓN

Los conceptos del cálculo se abordan, por lo general, de manera algebraica por parte de maestros y alumnos [1]. La acción de intervención eficaz en el sistema didáctico para un mejor aprendizaje de las matemáticas excede el proceder de buena voluntad. Más bien, requiere del compromiso de adentrarse en la problemática y hacer de la práctica docente un lugar de reflexión sobre el conocimiento adquirido. Esto lleva a un debate en la comunidad de investigadores acerca del cómo enseñar y qué debe enseñarse en cálculo [2].

Cantoral y Montiel [3] mencionan lo siguiente sobre el proceso de visualizar:

La visualización es la habilidad para representar, transformar, generar, comunicar, documentar y reflejar información visual en el pensamiento y el lenguaje del que aprende. De modo que al realizar la actividad de visualización se requiere la utilización de nociones matemáticas asociadas a los ámbitos, numéricos, gráficos, algebraicos o verbales, pero exige también del uso de un lenguaje común para explicar ciertos fenómenos e incluso para describir experiencias vivenciales.

La tecnología ha tenido una injerencia importante en la forma de aprender matemáticas por parte de los estudiantes y ha generado ya cambios sustanciales en el aprendizaje. Estos ambientes emplean y proporcionan condiciones para identificar, examinar y comunicar distintas ideas por parte del alumno [4].

Este trabajo muestra una propuesta de enseñanza para encontrar la ecuación del plano tangente a una superficie en el espacio con el uso del software GeoGebra, cuya dinamicidad puede mejorar la comprensión del objeto y que a su vez sea posible medir el nivel cognitivo alcanzado por el estudiante. Para ello, es necesario apoyarse de una teoría cognitiva como APOE (Acciones, Procesos, Objetos y Esquemas) [5].

Se pretende que los estudiantes de ingeniería apliquen conocimientos previos con el objetivo de lograr formas alternativas a las propuestas por los libros de texto para encontrar, por ejemplo, planos tangentes a una superficie. La exploración juega un papel importante en el proceso, ya que el software permite utilizar las representaciones numéricas, geométricas y algebraicas para la verificación de las conjeturas planteadas por ellos.

Los objetivos de implementar una propuesta como la aquí presentada son:

- Plantear problemas a los alumnos para que le den solución en las diferentes representaciones (gráfico, algebraico y numérico).
- Promover el uso de una herramienta didáctica no convencional para plantear y resolver un problema específico: encontrar la ecuación de un plano tangente a una superficie en un punto.
- Que el alumno llegue a una generalización del problema para que lo utilice en otros casos.

Existen teorías cognitivas que pueden utilizarse para realizar investigación en matemática educativa, pero también, pueden ser usadas para diseños didácticos, ya que, de cierta manera, teorizan cómo se aprende. La teoría APOE explica que, ante el aprendizaje de determinado concepto matemático, la primera etapa es la manipulación de objetos para formar Acciones, estas a su vez se interiorizan y forman Procesos, los cuales se encapsulan para dar paso a la construcción de Objetos que, a su vez, se pueden volver a desencapsular para volver hacia el Proceso que lo formó. En conclusión, las Acciones, Procesos y Objetos se pueden organizar en Esquemas [5] (Figura 1).

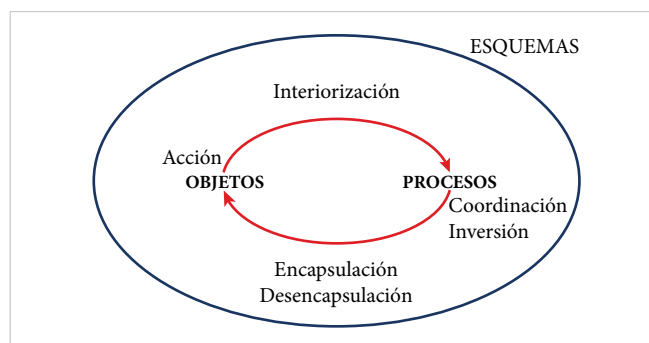


Figura 1. Ciclo APOE.

GeoGebra dispone de un Sistema de Cómputo Algebraico (CAS, por sus siglas en inglés; Computer Algebra System), es decir, permite la manipulación algebraica además de la manipulación dinámica de objetos geométricos, que se denomina DGS (Dynamic Geometry System). Aunado a ello, se pueden trabajar en una misma pantalla las representaciones algebraicas, numérica y gráficas de un objeto matemático [6].

II. METODOLOGÍA

La presentación del tema *planos tangentes a una superficie* por parte de los docentes, sigue un proceso tradicional, iniciando con el uso de vectores y sus propiedades, seguido de la derivada parcial y el gradiente, para concluir con la ecuación del plano. Con referencia a los libros de texto, se revisó a Larson [7], donde se explica cómo encontrar dicho plano con la siguiente definición y el uso de la ecuación del plano tangente.

Sea F una función de varias variables diferenciable en un punto $P(x_0, y_0, z_0)$ de una superficie dada por $F(x, y, z) = 0$, de manera que $\nabla F(x_0, y_0, z_0) \neq 0$. El plano que pasa por P y es normal a $\nabla F(x_0, y_0, z_0)$ se llama plano tangente. Si F es diferenciable en el punto (x_0, y_0, z_0) , la ecuación del plano tangente a la superficie de $F(x, y, z) = 0$ en ese punto es:

$$F_x(x_0, y_0, z_0)(x - x_0) + F_y(x_0, y_0, z_0)(y - y_0) + F_z(x_0, y_0, z_0)(z - z_0) = 0 \quad (1)$$

En la **Figura 2** se muestra un ejemplo de un plano tangente a un paraboloide. El programa GeoGebra permite dividir la pantalla en diferentes ventanas (vista álgebra, vista gráfica, vista gráfica 3D, por mencionar algunos ejemplos). Las vistas que se quiere trabajar se activan o desactivan, según lo requerido por el usuario. En este caso, la primera columna muestra una vista algebraica (representación algebraica) y la segunda despliega una vista gráfica en 3D de un plano tangente al paraboloide $x^2 + y^2 - z + 1 = 0$ en el punto $(1, 1, 3)$, cuya ecuación es $2x + 2y - z = 1$.

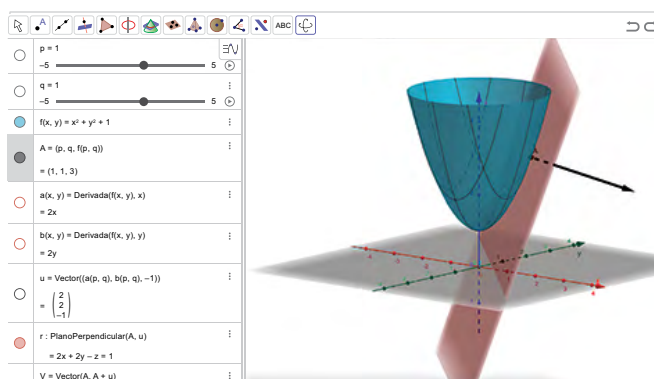


Figura 2: Plano tangente a paraboloide usando GeoGebra.

La **Figura 3** muestra la construcción de un plano a través de un determinante. Como primera actividad para el alumno, se le solicitó que encuentre ecuaciones de

planos usando un determinante del estilo presentado en Ávila et al. [8].

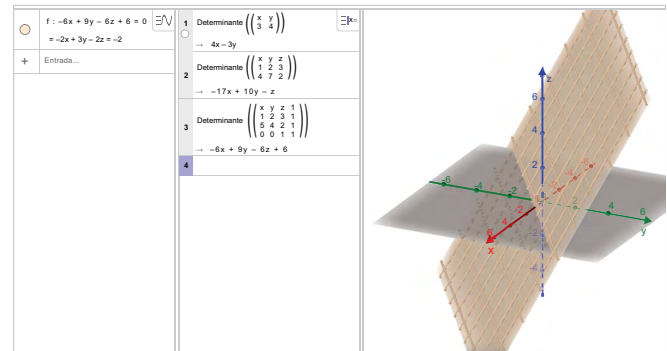


Figura 3. Gráfica de un plano usando las vistas algebraicas, CAS y gráfica.

Para obtener el plano que pasa por los puntos $(1, 2, 3)$, $(5, 4, 2)$, $(0, 0, 1)$, se utilizó el siguiente determinante:

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 1 \\ 5 & 4 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} = -6x + 9y - 6z + 6 \quad (2)$$

El resultado obtenido se igualó a cero para obtener la ecuación del plano que pasa, quedando esta ecuación de la siguiente manera:

$$-6x + 9y - 6z + 6 = 0 \quad (3)$$

Como segunda actividad se pidió adecuar el determinante para encontrar la ecuación del plano tangente a una función particular en un punto de esta. Se consideró el caso de la función $x^2 + y^2 - z + 1 = 0$, escrita en función de las variables x e y , y quedó como $f(x, y) = x^2 + y^2 + 1$. El punto de tangencia debe estar en $(1, 1, 3)$.

El determinante es el siguiente:

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+h & 1 & (1+h)^2 + 1^2 + 1 & 1 \\ 1 & 1+h & 1^2 + (1+h)^2 + 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (4)$$

Este se interpreta de la siguiente manera: el primer renglón debe contener las variables para que la ecuación salga en esos términos, y el segundo renglón contiene al punto de tangencia, colocando cada valor en su variable correspondiente. El tercer renglón muestra que hay un

incremento en cuanto al valor x de una cantidad h con respecto a su valor inicial y el renglón cuatro tiene un adelanto con respecto al valor de y de la misma cantidad h .

El resultado obtenido por el software GeoGebra para el determinante es:

$$2h^3 + h^2 - h^3x - 2h^2x - h^3y - 2h^2y + h^2z \quad (5)$$

Este resultado se igualó a cero para que pueda representar la ecuación de un plano:

$$2h^3 + h^2 - h^3x - 2h^2x - h^3y - 2h^2y + h^2z = 0 \quad (6)$$

La ecuación se puede simplificar, ya que todos los términos contienen al menos un h^2 , quedando de la siguiente manera:

$$2h + 1 - hx - 2x - hy - 2y + z = 0 \quad (7)$$

El incremento h , al hacerlo pequeño, produce el efecto de acercar los puntos incrementados al punto de tangencia y además la ecuación del plano va tendiendo a hacer la correcta, como se muestra en la [Tabla 1](#).

TABLA 1
ECUACIONES DE PLANOS PARA DIFERENTES VALORES DE h

h	ECUACIÓN
1	$2 - 3x - 3y + z = 0$
0.1	$1.2 - 2.1x - 2.1y + z = 0$
0.01	$1.02 - 2.01x - 2.01y + z = 0$
0.001	$1.002 - 2.001x - 2.001y + z = 0$
0.0001	$1.0002 - 2.0001x - 2.0001y + z = 0$
0.00001	$1.00002 - 2.00001x - 2.00001y + z = 0$
0.000001	$1.000002 - 2.000001x - 2.000001y + z = 0$

Si el proceso se sigue indefinidamente, la ecuación del plano tangente tiende a ser la siguiente:

$$1 - 2x - 2y + z = 0 \quad (8)$$

La ecuación (8) es equivalente a la mostrada al final de la primera columna de la [Figura 2](#).

La tercera actividad va encaminada a que el estudiante realice variantes al determinante y argumente la razón del resultado obtenido.

Los determinantes propuestos son los siguientes:

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1-h & 1 & (1-h)^2+1^2+1 & 1 \\ 1 & 1-h & 1^2+(1-h)^2+1 & 1 \end{vmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+h & 1 & (1+h)^2+1^2+1 & 1 \\ 1 & 1-h & 1^2+(1-h)^2+1 & 1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+n \cdot h & 1 & (1+n \cdot h)^2+1^2+1 & 1 \\ 1 & 1+n \cdot h & 1^2+(1+n \cdot h)^2+1 & 1 \end{vmatrix} \quad (11)$$

La ecuación (11) requiere la condición que $n \in \mathbb{R}$, con $n \neq 0$.

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+h & 1+h & (1+h)^2+(1+h)^2+1 & 1 \\ 1+h & 1 & (1+h)^2+1^2+1 & 1 \end{vmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+h & 1+h & (1+h)^2+(1+h)^2+1 & 1 \\ 1-h & 1-h & (1-h)^2+(1-h)^2+1 & 1 \end{vmatrix} \quad (13)$$

Un análisis de los determinantes es el siguiente: la ecuación (10), muestra un retroceso de una cantidad h con respecto al punto de tangencia, esto da origen a la siguiente ecuación para el plano tangente cuando h tiende a cero:

$$1 - 2x - 2y + z = 0$$

que es idéntica a la ecuación (8).

La ecuación (10), por su parte, muestra un adelanto con respecto a x a partir del punto de tangencia y un retraso con respecto a y respecto al mismo, hecho esto en el tercero y cuarto renglón del determinante. La

ecuación que se obtiene cuando h tiende a cero es la siguiente:

$$-1 + 2x + 2y - z = 0$$

y el resultado es equivalente a la ecuación (8).

La respuesta para las ecuaciones (11) y (12) se muestran en la Figura 4, cuya salida se obtiene en GeoGebra utilizando la ventana CAS.

Figure 4 shows the output of GeoGebra's CAS window for two determinant cases. For case (11), the determinant is calculated as $\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+nh & 1 & (1nh)^2+1^2+1 & 1 \\ 1 & 1+nh & 1^2+(1+nh)^2+1 & 1 \end{vmatrix}$, resulting in $-x n^3 h^3 + x n h - y n^3 h^3 - 2 y n^2 h^2 + z n^2 h^2 + 2 n^3 h^3 - n^2 h^2 - n h$. For case (12), the determinant is $\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+h & 1+h & (1+h)^2+(1+h)^2+1 & 1 \\ 1+h & 1 & (1+h)^2+1^2+1 & 1 \end{vmatrix}$, resulting in $x h^3 + 2 x h^2 + y h^3 + 2 y h^2 - z h^2 - 2 h^3 - h^2$.

Figura 4. Salida de GeoGebra de los casos (11) y (12).

El caso del determinante (11) indica que el primer punto del tercer renglón del determinante incrementa a la variable x en un múltiplo de h , es decir, nh , mientras que el segundo punto en el cuarto renglón es con respecto a la variable y . Este resultado generaliza los casos anteriores.

El determinante (12), en su tercer renglón, indica un incremento h a partir del punto de tangencia con respecto a las variables x e y , mientras que en el cuarto renglón solamente lo hace con respecto a x , obteniendo el resultado correcto. Si el incremento hubiese sido con respecto a la variable y , el resultado sigue siendo el esperado.

En el caso del determinante (13), se realizaron incrementos en el primer punto con respecto a las variables x e y ; el tercer renglón muestra esos incrementos. Con respecto a la variable y , en el cuarto renglón hubo un decremento en esas mismas variables, dando como resultado la imposibilidad de obtener la ecuación de un plano, ya que la variable z fue eliminada en el proceso. La ecuación (14) muestra esta situación:

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ h+1 & h+1 & 2h^2+4h+3 & 1 \\ -h+1 & -h+1 & 2h^2-4h+3 & 1 \end{vmatrix} = 4h^3x - 4h^3y \quad (14)$$

Una forma simple de escribir la ecuación del plano, tomando únicamente los casos de los determinantes de las ecuaciones (4), (11) y (12), respectivamente, serían las siguientes:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left(\frac{1}{h^2} \begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+h & 1 & (1+h)^2+1^2+1 & 1 \\ 1 & 1+h & 1^2+(1+h)^2+1 & 1 \end{vmatrix} \right) = 0 \quad (15)$$

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left(\frac{1}{h^2} \begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+n \cdot h & 1 & (1+n \cdot h)^2+1^2+1 & 1 \\ 1 & 1+n \cdot h & 1^2+(1+n \cdot h)^2+1 & 1 \end{vmatrix} \right) = 0 \quad (16)$$

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left(\frac{1}{h^2} \begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \\ 1+h & 1+h & (1+h)^2+(1+h)^2+1 & 1 \\ 1+h & 1 & (1+h)^2+1^2+1 & 1 \end{vmatrix} \right) = 0 \quad (17)$$

Como última actividad, se buscó una expresión que generalice los casos anteriores. Sea $z = f(x, y)$ una función en R^3 y (x_0, y_0, z_0) un punto diferenciable de la función z ; entonces, la ecuación del plano tangente queda definida por la expresión siguiente:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \left(\frac{1}{h^2} \begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_0 & y_0 & z_0 & 1 \\ x_0+h & y_0 & f(x_0+h, y_0) & 1 \\ x_0 & y_0+h & f(x_0, y_0+h) & 1 \end{vmatrix} \right) = 0 \quad (18)$$

Enseguida, la demostración correspondiente:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h^2} \begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_0 & y_0 & z_0 & 1 \\ x_0+h & y_0 & f(x_0+h, y_0) & 1 \\ x_0 & y_0+h & f(x_0, y_0+h) & 1 \end{vmatrix} \\ &= \frac{x f(x_0, y_0)}{h} - \frac{x f(x_0+h, y_0)}{h} + \frac{y f(x_0, y_0)}{h} - \frac{y f(x_0, y_0+h)}{h} \\ & \quad - \frac{x_0 f(x_0, y_0)}{h} - \frac{y_0 f(x_0, y_0)}{h} + \frac{y_0 f(x_0, y_0+h)}{h} \\ & \quad + \frac{x_0 f(x_0+h, y_0)}{h} - f(x_0, y_0) + z \end{aligned} \quad (19)$$

Se factorizan los términos $[x - x_0]$ y $[y - y_0]$ y se obtiene:

$$\begin{aligned}
 & - [x - x_0] \left[\frac{f(x_0 + h, y_0)}{h} + \frac{f(x_0, y_0)}{h} \right] \\
 & - [y - y_0] \left[\frac{f(x_0, y_0 + h)}{h} + \frac{f(x_0, y_0)}{h} \right] - f(x_0, y_0) + z \quad (20)
 \end{aligned}$$

Se aplica el límite cuando h tiende a cero a la expresión anterior:

$$\begin{aligned}
 & - \lim_{h \rightarrow 0} [x - x_0] \lim_{h \rightarrow 0} \left[\frac{f(x_0 + h, y_0)}{h} + \frac{f(x_0, y_0)}{h} \right] \\
 & - \lim_{h \rightarrow 0} [y - y_0] \lim_{h \rightarrow 0} \left[\frac{f(x_0, y_0 + h)}{h} + \frac{f(x_0, y_0)}{h} \right] \\
 & - \lim_{h \rightarrow 0} f(x_0, y_0) + \lim_{h \rightarrow 0} z \quad (21)
 \end{aligned}$$

Se simplifica e iguala a cero:

$$\begin{aligned}
 & - [x - x_0] f_x(x_0, y_0) - [y - y_0] f_y(x_0, y_0) \\
 & - f(x_0, y_0) + z = 0 \quad (22)
 \end{aligned}$$

Se despeja la variable z :

$$\begin{aligned}
 z &= [x - x_0] f_x(x_0, y_0) + [y - y_0] f_y(x_0, y_0) \\
 &+ f(x_0, y_0) \quad (23)
 \end{aligned}$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto a la ecuación plano tangente, Martínez-Planell y Trigueros [9] reportan que los alumnos confunden la existencia de la derivada parcial y la diferenciabilidad, tema que se debe considerar para la existencia del plano tangente a una superficie. Por otro lado, consideran que los recursos digitales ayudan a una mejor comprensión y visualización del cálculo multivariable.

La metodología empleada va totalmente conforme a la teoría utilizada; esta va llevando al alumno a planteamientos cognitivos de un nivel cada vez mayor. En el primer planteamiento (4) se incrementa solo a una de las variables que se utilizan en los renglones 3 y 4 del determinante. Como segundo planteamiento (9) se hacen decrementos en una sola variable en los mismos renglones. En el tercer planteamiento (10) se hacen com-

binaciones de incrementos y decrementos. En el cuarto (11) se tiene una primera generalización importante como una consecuencia de los casos anteriores, que es agregar un múltiplo del incremento. El quinto caso (12), se hace un salto en la generalización: en el renglón tres se incrementan las dos variables y en el cuarto renglón solamente a una de ellas. En el sexto caso (13), se muestra un incremento en ambas variables del tercer renglón del determinante y un decremento en ambas en el cuarto renglón, lo que lleva a una conclusión inesperada: la imposibilidad de tener un plano tangente bajo esas condiciones; este resultado se analizó con mayor detenimiento y se observó en el determinante la desaparición de la variable z , lo que significa que bajo esas condiciones el plano corta en el punto de tangencia a la superficie.

Por lo tanto, se puede concluir bajo este análisis que para obtener la ecuación de un plano tangente a una superficie derivable en el punto, se pueden hacer todas las combinaciones de incrementos y decrementos en las variables, con la restricción de hacer incrementos o decrementos en las dos variables en ambos renglones del determinante. Aunque la ecuación de un plano tangente es conocida, la metodología empleada y la definición obtenida son inéditas.

La actividad en matemáticas necesita una coherencia interna, que se construye entre los registros de representación. Sin esta coherencia, dos tipos de representación pueden significar dos objetos disímiles, carentes de relación entre ellos; no se puede ni se debe considerar una separación entre ellas [10]. La generalización es de los más importantes procesos cognitivos en la actividad matemática, es ir de lo particular a lo general [11]. Los resultados obtenidos mediante el software deben tener un análisis por parte del alumno para que lo lleve desde el accionar con los objetos hasta un nivel de esquema. Cabe destacar la metodología utilizada en este trabajo, que es guiada por la teoría APOE, y las herramientas empleadas, que fueron los límites y determinantes de matrices 4×4 , las cuales se encuentran fuera del discurso para encontrar la ecuación de planos tangentes.

IV. CONCLUSIONES

Del presente trabajo se puede concluir lo siguiente:

- Se tiene una fórmula nueva diferente a las ya conocidas para encontrar la ecuación de un plano tangente.

- El uso o empleo de esta fórmula está al alcance de los alumnos que tengan conocimiento de límites y determinantes.
- Se pueden explorar variantes en los elementos de la expresión para mejorar la comprensión del objeto plano tangente y así obtener otras variantes de la expresión.
- El desarrollo de la expresión conduce a la fórmula conocida para la ecuación de planos tangentes.

REFERENCIAS

- [1] M. Artigue, “Una perspectiva histórica sobre la enseñanza de los principios del cálculo”, en *Ingeniería didáctica en educación matemática*, M. Artigue, R. Douady, L. Moreno, eds. Bogotá, Colombia: Pedro Gómez Editorial Iberoamérica, 1995.
- [2] C. Cuevas y F. Pluvillage, “Investigaciones sobre la enseñanza del cálculo”. *El Cálculo y su Enseñanza*, vol. 4. México: Cinvestav-IPN, 2013.
- [3] R. Cantoral y G. Montiel, “Visualización y pensamiento matemático”. [http://www.tbu.uan.edu.mx/_Lib_Art_En/_Arts/\(Cantoral-Montiel2003\)-ALME16-.pdf](http://www.tbu.uan.edu.mx/_Lib_Art_En/_Arts/(Cantoral-Montiel2003)-ALME16-.pdf)
- [4] D.E. Meel, “Modelos y teorías de la comprensión matemática: Comparación de los modelos de Pirie y Kieren sobre el crecimiento de la comprensión matemática y la Teoría APOE”, *RELIME*, vol. 6, n.º 3, pp. 221-278, 2003.
- [5] M. Trigueros, “La noción de esquema en la investigación en matemática educativa a nivel superior”, *Educación Matemática*, vol. 17, n.º 1, pp. 5-31, 2005.
- [6] M. Hohenwarter, J. Hohenwarter, Y. Kreis y Z. Lavicza, eds., “Teaching and Learning Calculus with Free Dynamic Mathematics Software GeoGebra”, en *11th International Congress on Mathematical Education*, Monterrey, México, 2008.
- [7] R. Larson y E. Bruce, *Cálculo*, tomo II, 10.ª ed. Editorial CENGAGE Learning Editores, S.A. de C. V., 2014.
- [8] M. S. Ávila, C. López y H. Portillo, *Métodos alternativos para abordar tópicos del cálculo diferencial e integral una exploración mediante el uso de los determinantes y el software Mathematica*, España: Editorial Académica Española, 2012.
- [9] R. Martínez-Planell y M. Trigueros, “Multivariable calculus results in different countries”, en *ZDM Mathematics Education*, Springer Nature, 2021, cap. 53, pp. 695-707, doi: [10.1007/s11858-021-01233-6](https://doi.org/10.1007/s11858-021-01233-6).
- [10] R. Duval, “Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación”, *La Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, vol. 1, pp. 143-168, 2006.
- [11] P. Salinas y J. Alanís, “Hacia un nuevo paradigma en la enseñanza del cálculo dentro de una institución educativa”, *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, vol. 12, n.º 3, pp. 355-382, 2009.

Edición especial

Integración e Innovación hacia un Desarrollo Sustentable

En 2024, la Universidad Santo Tomás (UST, Chile), la Universidad Santa María La Antigua (USMA, Panamá), la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UTADEO, Colombia), la Universidad de Lima (ULIMA, Perú), y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ, México), en una iniciativa de colaboración, organizaron la IV Conferencia Internacional América Sustentable (IV CIAS), con el objetivo de ofrecer un espacio para difundir y generar conocimiento y experiencias entre académicos, investigadores, estudiantes, profesionistas y público en general de Latioamérica.

Los trabajos de investigación representan trabajos interdisciplinarios entre universidades, empresas y sociedad, aportando soluciones innovadoras y mejoras en procesos que representan información para la toma de decisiones en distintas áreas, como producción y logística, ecodiseño, economía circular y adaptación al cambio climático, entre otras. Los resultados presentados brindan información para hacer más eficiente los procesos, la colaboración y la mejora desde una perspectiva sustentable.

El evento se llevó a cabo el 6 y 7 de noviembre de 2024 de manera virtual desde la Universidad Santo Tomás y

a través de su canal de YouTube en vivo, donde se abrió la oportunidad de ser visible para el público en general. En las sesiones virtuales se contó con la participación del Dr. Rodrigo Barraza Alonso, de la UST, y de la Dra. Soledad Vianey Torres Argüelles, de la UACJ, como moderadores.

El IV CIAS 2024 contó con un total de 24 ponencias que se incluyeron en las memorias del evento y se recibieron nueve trabajos en extenso para publicar en la Edición Especial “Integración e Innovación hacia un Desarrollo Sustentable” de la revista *CULCYT Científica y Tecnológica*, volumen 22, número 2 (mayo-agosto 2025). Estos artículos corresponden a las líneas de investigación que se presentaron en el IV CIAS 2024.

Agradecemos de antemano por el trabajo colaborativo que se llevó a cabo a través del Comité Organizador, representado por la Dra. Soledad Vianey Torres Argüelles, la Dra. Georgina Elizabeth Riosvelasco Monroy, la Mtra. Gabriela Álvarez Vega y el Dr. Rodrigo Barraza Alonso.

Dra. Georgina Elizabeth Riosvelasco Monroy
Editora Invitada

Diseños industriales de muebles, bajo consideraciones de economía circular y su transferencia tecnológica

Furniture designs under circular economy considerations and their technological transfer

Vladimir Becerril Mendoza^{1a} , Virginia Karina Rosas Burgos^{1b} , Alex Bernardo Pimentel Mendoza^{1c} ,
Yirandy Josué Rodríguez León^{1d} 

¹ {^aDiseño Industrial y Maestría en Ingeniería de Procesos y Manufactura, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología},

^b{Facultad de Economía y Relaciones Internacionales}, ^c{Maestría en Ingeniería de Procesos y Manufactura, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología}, ^d{Doctorado en Ciencias Administrativas, Facultad de Contaduría y Administración}, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México

RESUMEN

Este trabajo presenta un proyecto de la disciplina de Diseño Industrial de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), que describe el proceso de diseño desarrollado en el aula a nivel licenciatura con capacidad para satisfacer las necesidades de los usuarios y minimizar el impacto ambiental. La metodología implementada integra principios de economía circular en el diseño de muebles, estrategias de diseño modular y de diseño circular, cuidando la selección de materiales, la reducción de residuos en su fabricación, la extensión de la vida útil y la experiencia del usuario. La transferencia tecnológica (TT) se incorpora como un componente fundamental, facilitando la protección de la propiedad intelectual y la comercialización sostenible de los productos. El proyecto refleja la aplicación práctica del conocimiento por parte de estudiantes y profesores, respaldados por normativas de la UABC para proteger la autoría de las invenciones. Se propone un esquema de TT que garantice soluciones viables, factibles y sostenibles para la misma universidad, el mercado y el medioambiente. Se discute el alcance de un proyecto generado desde el aula, destacando la transferencia tecnológica, la documentación requerida para facilitar la negociación de productos diseñados con criterios de sustentabilidad económica, ambiental y social, así como los desafíos técnicos y normativos.

PALABRAS CLAVE: transferencia tecnológica; diseño circular; propiedad industrial; diseño de muebles.

ABSTRACT

This work presents a project from the Industrial Design discipline at the Autonomous University of Baja California (UABC), showcasing the design process developed in the classroom at the undergraduate level. The methodology integrates principles of circular economy (CE) into furniture design, incorporating modular and circular design strategies that emphasize material selection, waste reduction during manufacturing, extended product lifespan, and enhanced user experience. Technology transfer (TT) serves as a fundamental component, enabling intellectual property protection and the sustainable commercialization of products. The project demonstrates the practical application of knowledge by students and faculty, supported by UABC regulations that safeguard the authorship of inventions. A comprehensive TT framework is proposed to ensure viable, feasible, and sustainable solutions for the university, the market, and the environment. Furthermore, the scope of classroom-generated projects is discussed, highlighting the required documentation to facilitate product negotiation and addressing economic, environmental, and social sustainability criteria, along with technical and regulatory challenges.

KEYWORDS: technology transfer; circular design; industrial property; furniture design.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Vladimir Becerril Mendoza

INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Baja California / Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

DIRECCIÓN: Blvr. Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B.C., México

CORREO ELECTRÓNICO: vladimir.becerril@uabc.edu.mx

Fecha de recepción: 27 de mayo de 2025. **Fecha de aceptación:** 10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2025.



Licencia Creative Commons



I. INTRODUCCIÓN

El diseño industrial enfrenta el reto de integrar principios de sostenibilidad que reduzcan el impacto ambiental y, al mismo tiempo, generen valor económico. En este contexto, la Economía Circular (EC) surge como una solución clave al proponer estrategias que optimicen el uso de recursos, minimicen los residuos y promuevan la modularidad y la reparación [1]. Sin embargo, su implementación en sectores como la industria del mueble requiere un enfoque integral que combine diseño sostenible y social [2], con estrategias de Transferencia Tecnológica (TT).

La TT permite que las innovaciones desarrolladas en entornos académicos se transfieran al sector productivo, fomentando la competitividad y la comercialización de productos [3]. En la formación profesional del diseñador industrial, se encuentra condicionada por elementos contextuales, metodológicos, técnicos, tecnológicos, humanísticos, legales e institucionales que incluyen los problemas ambientales [4]. Sin embargo, este proceso presenta desafíos significativos, como la protección de la propiedad intelectual y la negociación de acuerdos de licencia.

Este artículo analiza cómo la integración de EC y TT puede apoyar a emprendimientos desde el entorno académico, en la creación de diseños de muebles sostenibles y comercialmente viables. Para ello, se presenta una revisión del estado del arte sobre EC y TT en el diseño de muebles, complementada con la descripción de un caso práctico: el proyecto Night Studio, desarrollado en el ámbito académico.

A. ECONOMÍA CIRCULAR

La EC consiste en la implementación de estrategias rentables y prácticas que mejoren el uso racional de los recursos, y que simultáneamente maximicen los beneficios que brindan la empresa, sociedad y ambiente. Permite tener como soluciones el empleo de materiales verdes, materiales ecológicos como es la madera y sus derivados, promueve la utilización como energía limpia y el reciclaje de residuos con el objetivo de maximizar los beneficios del desarrollo sostenible [5], [6]. La EC también tiene el potencial de disminuir los costos de acceso a bienes y servicios. Se han investigado y discutido el concepto y la justificación económica de la EC desde 2012, y están bien documentados en publicaciones de

la Fundación Ellen MacArthur [7], así como de otras organizaciones de investigación empresarial, política y académica.

En la actualidad, se está produciendo un acelerado cambio en los negocios y finanzas, y cada vez más empresas adoptan estrategias de EC con el fin de generar valor y mejorar la competitividad. En esta perspectiva, los tres pilares de la EC son sustentabilidad social, sustentabilidad ambiental y sustentabilidad económica.

Sustentabilidad social. Para alcanzar el equilibrio, el progreso no debe perpetuarse ni profundizar la pobreza, la exclusión y la disparidad social. Debe enfocarse en alcanzar la equidad y la justicia social, fomentando la participación de las sociedades en la generación de riqueza y su distribución.

Sustentabilidad ambiental. El desarrollo que satisface las necesidades actuales sin comprometer la habilidad de las generaciones venideras para satisfacer sus propias necesidades. En consecuencia, la sustentabilidad ambiental tiene como objetivo satisfacer las necesidades mediante el equilibrio de una especie con los recursos de su entorno.

Sustentabilidad económica. Esta se basa en la implementación de tácticas provechosas y prácticas que optimicen el uso racional de los recursos, y a su vez maximicen los beneficios que ofrecen las compañías [8].

Carrillo y Miranda [9] analizan las tendencias en economía circular en la industria del mueble, destacando la necesidad de integrar estrategias circulares y las métricas para evaluar la sostenibilidad como elementos clave para la innovación y el crecimiento del interés académico en la EC. A esto se suma el ecodiseño, que impulsa el aprovechamiento de residuos y materiales reciclados, con lo cual se logra reducir costos, generar impacto ambiental positivo y promover la colaboración entre la academia y la industria [6].

Norman [10] señala que los diseños a menudo dificultan la reparación o el remplazo de elementos, lo cual conduce a la obsolescencia permanente. Existen residuos en cada etapa de la vida de un producto, incluso después de que se haya deshecho. Las prácticas actuales son complejas para modificar, incluso las empresas que se dedican a modificar presentan dificultades para lograr la transición. Las líneas de producción están a gran es-

cala con métodos dañinos y la alternativa de otros más ecológicos y sensibles resulta costosa y exige un largo lapso de tiempo. Se ha mencionado que el proceso de diseño es fundamental, ya que es aquí donde se seleccionan los materiales y la capacidad de reparar o actualizar está integrada en la construcción y la forma del producto.

Un ejemplo de esto es Hasan *et al.* [11], quienes dan respuesta a las enormes cantidades de desechos que generan los procesos de la industria de la madera y proponen el reciclaje de residuos de madera mediante la aplicación de nanomateriales. Los muebles verdes, el ecodiseño y la sustentabilidad son temas importantes para mitigar el impacto ambiental de las industrias. Asimismo, se suma el interés del consumidor y el usuario por obtener y utilizar productos que incluyan elementos medioambientales, lo cual resulta fundamental para el desarrollo de mobiliarios diferenciadores y ecológicos, con un valor agregado para los consumidores, la sociedad y las empresas [12].

Las investigaciones más minuciosas han llevado a cabo una elaboración de mobiliario mediante la reutilización de residuos de madera y han identificado las ventajas al racionalizar el uso y reutilización del material, basado en el diseño apropiado para las capacidades de esa materia prima [13].

La producción más limpia aplicada al proceso de ensamble y aplicación de recubrimientos en muebles de madera, la alternativa da solución para minimizar los impactos ambientales del sector y que son viables desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, están enfocadas hacia la producción desde la implementación de buenas prácticas ambientales a partir de la definición de procedimientos, evitando consumos innecesarios que lleven a incrementar la generación de residuos peligrosos [14]. Destacan la necesidad de un nuevo modelo económico basado en valores éticos y ambientales, subrayando la importancia de reordenar los sistemas económicos dentro de un marco ecológico.

B. DISEÑO DE MUEBLES Y LA INDUSTRIA

La industria del mueble ha experimentado un avance tecnológico, pero en México aún se encuentra sujeta a trabajo manual y maquinaria convencional, a diferencia de los países más industrializados, donde el trabajo humano ha sido sustituido por máquinas avanzadas de-

bido a su elevada demanda [15], [16]. El diseño centrado en la experiencia del usuario se ha convertido en un factor clave para el éxito en el mercado, requiriendo altos niveles de producción y calidad basados en procesos creativos y de investigación. Zhang *et al.* [17] exponen un proceso de diseño en siete fases, que van desde la determinación de la función hasta la evaluación de la robustez del sistema, el cual se aplica en un contexto educativo. No obstante, Arbeláez [18] sostiene que las metodologías lineales carecen de una representación adecuada de la realidad del diseño. Asimismo, el panorama actual del diseño ha ampliado su enfoque hacia objetos intangibles y sociales, con un enfoque más centrado en la experiencia del usuario y su impacto en los ámbitos físicos, sociales y emocionales.

Rojas [19] destaca que el diseño ha evolucionado desde una perspectiva enfocada en el buen diseño y aspectos estético-funcionales-productivos hacia una orientación más centrada en el usuario y su interacción con el entorno y la cultura. Además, subraya la importancia del pensamiento sistémico para simplificar y entender la complejidad de los sistemas, lo que facilita la integración de nuevos elementos y la visualización del impacto de las decisiones. Este enfoque sistémico no solo ayuda a comprender el sistema en su conjunto, sino también a proponer mejoras eficientes. Asimismo, señala que el diseño puede ser especialmente desafiante para los estudiantes que están aprendiendo sobre materiales y metodologías mientras intentan resolver problemas de diseño, como la creación de un mueble de madera. Sin embargo, metodologías como el Pensamiento de Diseño desde la Complejidad [20], mejoran la experiencia de aprendizaje al integrar enfoques de sustentabilidad y TT.

No obstante, la materia prima presenta características comerciales estandarizadas, moduladas en múltiplos de pulgadas y pies, lo que genera residuos durante el diseño de muebles y piezas debido a la forma, los defectos de la materia prima y los procesos de manufactura. Desde la disciplina de diseño industrial, se emplean métodos de diseño modular que ofrecen diversas ventajas, como la adaptabilidad y escalabilidad de los muebles, permitiendo su reutilización y ajuste a diferentes necesidades del usuario. El uso de interfaces estandarizadas en el diseño modular asegura la compatibilidad con los procesos de fabricación industrial, promoviendo la eficiencia y reduciendo los residuos en la manufactura [21], [22], [23]. La estructura modular incluye elementos funcionales, escalables y reutilizables, definidos por siste-

mas que permiten su ensamblaje según los estándares de la industria. Estas características permiten diseñar mobiliario adaptable a las preferencias del consumidor, ya que el usuario puede personalizar el producto variando sus componentes [24], [25]. La posibilidad de modificar la función y durabilidad del mueble se basa en la elección de elementos ajustables, optimizando su integración en diferentes entornos [23]. La importancia del reciclaje como eje central de la EC en la industria del mueble, se refleja en la aceptación en el mercado por productos sostenibles, al integrar el reciclaje y la reutilización en procesos productivos. Estas prácticas pueden ser aprovechadas por emprendedores para generar nuevos modelos de negocio y mejorar la competitividad en el sector maderero [26].

Es evidente que los usos de tecnologías han sido empleados para facilitar el proceso de diseño. Un ejemplo destacado es el de Dovramadjiev *et al.* [27], donde se evidencia la utilidad del sistema de diseño asistido por computadora (CAD), en el diseño de modelos virtuales, lo cual solventa dificultades de diseño, ergonómicos, funcionales y constructivos. En este contexto, se destacan las ventajas de esta herramienta tecnológica para la creación de mobiliario ergonómico multifuncional. La presente afirmación se ajusta a lo expuesto por Gawroński [28], quien expone cómo el empleo de las nuevas herramientas tecnológicas empleadas en las fases del proceso de diseño del mobiliario optimiza el proceso de producción. Un obstáculo en el proceso de diseño es la conexión que frecuentemente se encuentra entre el departamento de diseño y el de producción, donde se pueden efectuar modificaciones sustanciosas en la propuesta de los nuevos artículos, debido a la carencia de información necesaria para la producción o los recursos necesarios para fabricarlos, tiempos y costos, así como la necesidad del reconocimiento de la propiedad intelectual.

C. TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

La TT se refiere al proceso de intercambio, difusión o adquisición de conocimientos, tecnologías, métodos de producción o innovaciones entre diversas entidades, como instituciones académicas, centros de investigación, empresas y otras entidades. La TT en el diseño industrial de un mueble requiere la transición de los conocimientos generados en proyectos hacia aplicaciones prácticas y comerciales con una retribución económica para la institución y los autores [29]. Esto puede lograr-

se mediante acuerdos de licencia, colaboraciones con la industria, formación de empresas que se sustentan en la tecnología desarrollada o la comercialización de productos y servicios. La TT es esencial para fomentar la innovación y la competitividad, puesto que contribuye a llevar a cabo los progresos científicos y tecnológicos al mercado, generando un impacto económico y social [30]. La TT de la universidad puede incrementar los ingresos y promueve la cultura de la innovación y el reconocimiento por el sector industrial y social [31]. Para lograr la TT es importante contar con derechos de propiedad industrial y/o autoría, lo que permite la negociación con los interesados en producir o explotar la invención.

La propiedad industrial surge en México en 1993 con el objetivo de proteger las invenciones, recompensar a sus creadores y beneficiar a la comunidad mediante la promoción del progreso tecnológico [32]. La tarea de difundir la importancia de la propiedad industrial y su correcta aplicación en los sectores económico, industrial, intelectual y de investigación no recae únicamente en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), sino también en las instituciones de educación superior y los centros de investigación. Asimismo, estas entidades deben fomentar el conocimiento de las normas que regulan los derechos de propiedad intelectual [33].

En la UABC, el 6 de noviembre de 2017, se publicó el Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California, el cual recalca la promoción, generación, aplicación, difusión y transferencia del conocimiento [34], por medio del Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia (DPIyT). En este contexto, es necesario reconocer la relevancia de la propiedad intelectual y la necesidad de establecer regulaciones que garanticen los derechos de profesores y estudiantes en la institución.

La transferencia de tecnología universidad-industria es un proceso clave para la apropiación del conocimiento generado en el ámbito académico y su aplicación en la industria. Se destaca la innovación abierta como un mecanismo efectivo para facilitar la TT, permitiendo flujos de conocimiento más allá de las fronteras organizacionales y reforzando la relación universidad-industria mediante la externalización del conocimiento [35]. Por su parte, Calderón-Altamirano y Rodríguez [36], señalan que la efectividad de la transferencia en las uni-

versidades públicas estatales de México depende de una serie de capacidades institucionales, innovadoras, académicas y emprendedoras, utilizando un análisis configuracional y destacando la importancia de condiciones como la gestión del conocimiento y la competitividad académica.

Los productos sostenibles en la industria del mueble permiten estrategias específicas con un enfoque pragmático que refuerza la viabilidad comercial de la EC [26] y su conexión con la TT. De aquí la necesidad de estrategias integrales y dinámicas para optimizar la TT y su impacto en el desarrollo industrial.

En tal sentido, el artículo busca dilucidar conclusiones desde el análisis conceptual del diseño de muebles y la TT para establecer un modelo que posibilite un vínculo económico circular entre universidades e industrias, promoviendo soluciones sostenibles, comercialmente viables y que minimicen el impacto ambiental. Para lograrlo, se integran elementos de TT bajo principios de protección de la innovación y mitigación de impactos ambientales, tomando como muestra el diseño industrial Night Studio. Este proyecto fue desarrollado como parte de un ejercicio educativo por estudiantes de la Licenciatura en Diseño Industrial de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Baja California, México.

II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta se estructura en cuatro fases que integra los pilares de la EC, la TT y el ejercicio proyectual en entornos académicos dentro del aula, con un enfoque en el diseño de mobiliario sustentable. A continuación, se describe cada fase en detalle.

FASE 1: INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS

En esta fase inicial, se realizó una revisión de literatura académica y reportes industriales sobre EC y TT, centrándose en su aplicación al diseño de muebles. Las fuentes consultadas incluyeron bases de datos como Scopus y Web of Science, repositorios de patentes como el Sistema de Información de la *Gaceta de la Propiedad Industrial* del IMPI, priorizando artículos publicados entre 2010 y 2024. Además, se llevó a cabo un ejercicio de *benchmarking* y una búsqueda tecnológica de productos existentes para identificar necesidades funcionales y oportunidades de sostenibilidad, materiales

y tecnologías empleados en diseños actuales (Figura 1, bloques del recuadro verde del lado izquierdo).

FASE 2: DISEÑO Y CONCEPTUALIZACIÓN

En esta etapa, se desarrollaron bocetos y modelos digitales utilizando software CAD. El diseño incorporó principios de EC, como el diseño modular, que facilita la reparación y prolonga la vida útil del mueble; el uso de materiales sostenibles, considerando tableros a base de madera, conectores, adhesivos y recubrimientos; y la optimización del ciclo de vida mediante el diseño para el desensamblaje y el reciclaje al final de su uso. En la Figura 1, los bloques color gris oscuro representan la transición del proceso creativo-conceptual, orientado a definir el concepto con base en la modularidad y la selección de materiales sostenibles, mientras que los gris claro corresponden a la etapa técnico-ejecutiva del diseño. Estas se desarrollaron bajo un enfoque de pensamiento de diseño y con criterios de EC para asegurar la viabilidad circular del producto.

FASE 3: EVALUACIÓN

En esta fase se generaron los bocetos, modelos digitales y las maquetas que se evaluaron para madurar la propuesta de diseño. Se construyeron prototipos funcionales del mueble, los cuales se sometieron a pruebas al evaluar el uso práctico y adaptabilidad del mueble. Se puso énfasis en la ergonomía, por el análisis de comodidad y facilidad de uso, y en sostenibilidad, que incluyó optimización de materiales, diseño modular y reducción de residuos, y validación externa verificando la aceptación del diseño uso (Figura 1, bloques de color azul).

FASE 4: TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Esta fase se enfocó en la protección intelectual del diseño y su comercialización: el registro del diseño ante el IMPI, la documentación de planos y descripciones técnicas; el desarrollo de un plan de negocios con el análisis de viabilidad, identificación de socios comerciales y negociación de regalías, y, finalmente, las estrategias de comercialización, con la definición de acuerdos de licencia y promoción del producto a través de redes industriales (Figura 1, bloques de color amarillo).

El proceso metodológico se detalla en la Figura 1, que incluye desde la investigación inicial hasta la transferencia tecnológica. Cada fase está interconectada para

garantizar que el diseño de mobiliario cumpla con los principios de EC, al tiempo que se asegura su viabilidad comercial a través de la TT. Este esquema refuerza

za cómo la metodología aplicada no solo considera el impacto ambiental, sino también aspectos funcionales, sociales y económicos.

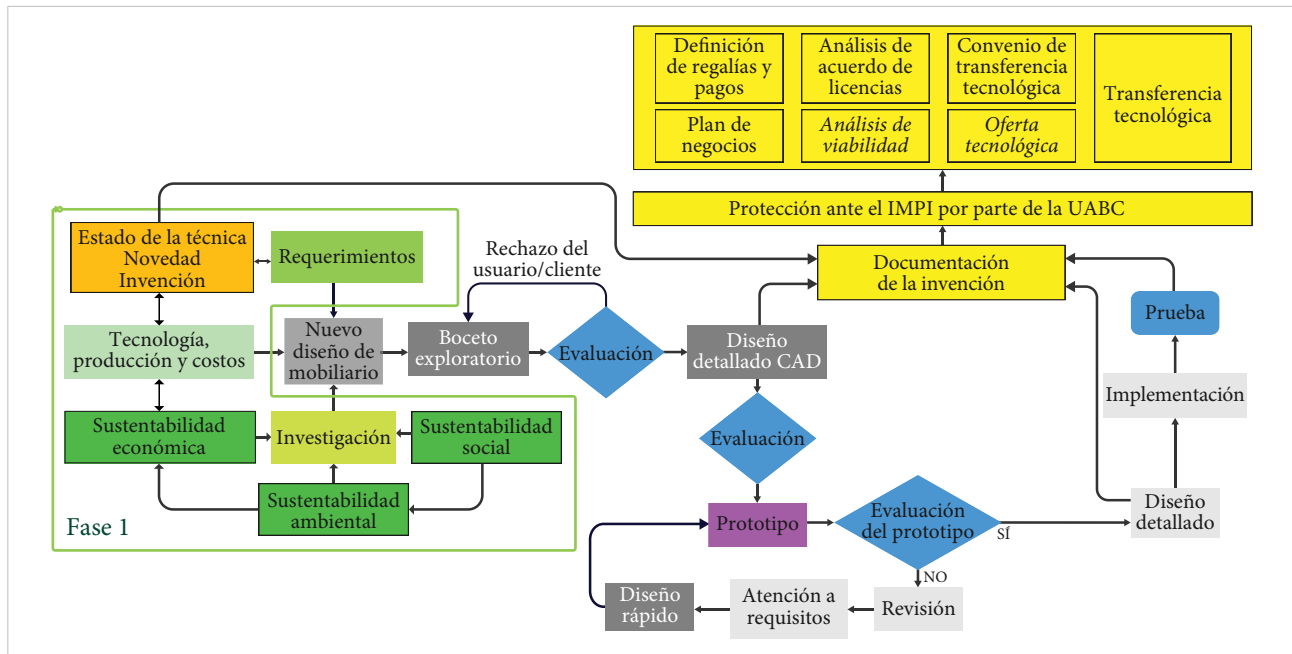


Figura 1. Fases metodológicas para integrar la EC y la TT en el diseño industrial.

De esta manera, se presenta la incorporación de principios de EC en el proceso de diseño de un mueble, con el propósito de fomentar la TT desde la academia hacia la industria, facilitando la aplicación práctica de conocimientos y tecnologías desarrolladas en entornos académicos y la información que se debe proporcionar y generar para lograr una negociación en la TT.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados evidencian la efectividad de aplicar principios de EC y TT en el diseño industrial de mobiliario generado en el ámbito académico. Este enfoque promueve la sostenibilidad al reducir el impacto ambiental, usar menos recursos y eliminar residuos, y mejora la innovación y la viabilidad comercial de los diseños. Además, la protección de invenciones y una documentación rigurosa facilitan negociaciones efectivas con clientes interesados en la fabricación y comercialización del mobiliario.

Como se muestra en la Figura 2, la integración de EC y TT dentro del ejercicio proyectual, genera propuestas innovadoras que combinan tecnologías de bajo impacto ambiental con soluciones funcionales, destacándose

de los enfoques convencionales y asegurando su competitividad en el mercado. En el contexto del ejercicio proyectual dentro del aula, se demuestra que el diseño de mobiliario no solo atiende necesidades específicas de los usuarios y clientes, sino también genera recursos económicos para los diseñadores y la institución académica, estableciendo un modelo educativo innovador que vincula la formación estudiantil con las demandas reales del mercado.



Figura 2. Intersección de pilares para el diseño sostenible en muebles, bajo consideraciones de EC y su TT.

En la Figura 3 se muestra un caso práctico titulado Mobiliario con Funciones de Escritorio y Mesa Estudio de Noche [37], con el nombre comercial Night Studio, diseñado por Andrea Calvillo Pérez y Alejandra Joanna Ramírez Bravo, quienes desde el inicio plantearon su comercialización.



Figura 3. Diseño industrial Night Studio, mobiliario con funciones de escritorio y mesa de estudio de noche.

Como resultados de la fase 1, la investigación y análisis permitió establecer requerimientos para el desarrollo del caso de estudio del mueble Night Studio. El diseño aborda tres atributos funcionales clave a resolver: 1) falta de espacio de trabajo y almacenamiento en los hogares, 2) malas posturas durante actividades de estudio y trabajo y 3) malos hábitos de orden.

En cuanto a los aspectos tecnológicos, se buscan ventajas de producción, optimización de material, reducción en el uso de accesorios comerciales, modular sus componentes para reducir los sobrantes, minimizar los desperdicios y costo competitivo del producto. El alumno logró integrar desde un inicio del proceso de diseño, las estrategias del diseño circular para una mejor toma de decisiones y que permitan cambiar el lente con el que se ve la necesidad del diseño.

Night Studio se conceptualizó en la fase 2 para cumplir con criterios ergonómicos y funcionales, garantizando un equilibrio entre sostenibilidad y viabilidad comercial. Entre las herramientas empleadas, destacó el *benchmarking* como método para comparar productos análogos y obtener datos significativos sobre el estado de la técnica. Este análisis permitió identificar aspectos de novedad e invención, fundamentales para establecer la protección industrial del diseño. Además, el modelado por medio de software CAD facilitó la generación de planos [4] y vistas requeridas por el IMPI para su registro como modelo de utilidad.

En la fase 3 de evaluación, en las diferentes etapas se llevaron a cabo ajustes en el diseño para cumplir con los requerimientos, lograr una propuesta competitiva al optimizar los procesos de fabricación y asegurar el cumplimiento de los objetivos sostenibles. La función dictó la forma, logrando una simplicidad. El usuario puede alcanzar los elementos de trabajo de uso habitual sin estirar excesivamente los brazos ni girarse innecesariamente gracias al área de trabajo y el volumen de almacenamiento que permite el mueble. También, brinda una opción de diseño para áreas de trabajo con dimensiones restringidas, que promueve una mejor postura y optimiza el espacio de escritorio, solucionando obstrucciones por falta de almacenamiento y dando una nueva experiencia de funcionalidad.

Además, su fabricación optimiza la materia prima (tableros de 1.22×2.44 m) y las dimensiones del mueble son modulares, por lo que todas las piezas que lo componen se obtienen de un tablero. El diseño presenta ventajas en su proceso de fabricación, es adaptable a equipos convencionales o a máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC), utilizando un mínimo de accesorios comerciales de fácil acceso en la región, es ajustable a las medidas comerciales de los materiales y se compone principalmente de dos materias primas. Comparado con otros escritorios y mesas de trabajo disponibles en el mercado, el diseño incrementa el área de trabajo y el volumen de almacenamiento con un total de 85 dm^2 y 97 dm^3 , respectivamente.

Como parte de la validación externa, en 2017 Night Studio obtuvo el primer lugar en el concurso Expo Mueble en Rosarito, B.C., México, y recibió una propuesta de comercialización por parte de una empresa de Ocotlán, Jalisco. En 2022, el diseño se presentó en la Expo Mueble B.C., con el objetivo de captar clien-

tes potenciales y logró interés de varios compradores, incluyendo a un empresario especializado en la fabricación y comercialización de mobiliario, lo cual es indicador del potencial de su venta de muebles a través de *e-commerce*.

Finalmente, en la fase 4: Transferencia Tecnológica, se aseguró que el diseño Night Studio fuera viable económicamente, generando beneficios para los diseñadores y la institución. El proceso de protección del diseño como modelo de utilidad ante el IMPI se inició ese mismo año. En 2018, el Organismo de Propiedad Intelectual de la UABC dio seguimiento al proceso de proteger la propiedad industrial. En 2020, se inició un nuevo procedimiento, otorgándose el título de Diseño Industrial el 4 de mayo de 2021.

La TT se integra como componente clave, facilitando acuerdos de licencia, protección de propiedad intelectual y estrategias de comercialización que aseguren la sostenibilidad económica y ambiental del diseño. Para facilitar una negociación efectiva, se llevó a cabo un análisis de productos análogos con el fin de establecer una tasa de regalía adecuada para el acuerdo de licenciamiento. A partir de la revisión del diseño y su viabilidad para la transferencia, se hizo un estudio de regalías para el mueble Night Studio, confirmando su potencial para un contrato de explotación, fabricación, distribución y venta, donde se identificó el rango de regalías de mercado sobre las ventas, basado en acuerdos de licenciamiento de muebles similares.

Con base en esta información y en colaboración con otros actores de la UABC, se desarrolló un plan de negocios para el diseño Night Studio, que estima el costo total del diseño y producción en MXN 32 398, utilizando los recursos de la universidad. En comparación, el costo del diseño en un despacho promedio asciende a MXN 24 000, mientras que en un despacho reconocido puede alcanzar MXN 69 588. Por su parte, diseñadores *freelance* o independientes cobran aproximadamente entre MXN 2500 y MXN 7000, aunque en estos tres casos los costos incluyen únicamente el diseño y la documentación, sin contemplar la fabricación de prototipos ni la evaluación física, y la autoría pertenece al despacho. Adicionalmente, a nivel regional se identificaron 46 grandes empresas de muebles de madera en Baja California, de las cuales 13 mostraron potencial interés en adquirir el diseño industrial de Night Studio.

En el contexto actual, el mueble Night Studio se encuentra en proceso de TT. Este caso práctico ilustra un modelo viable para la creación de diseños industriales de mobiliario generados en el aula, bajo principios de EC y TT en el entorno académico, a través del ejercicio proyectual.

IV. CONCLUSIONES

La implementación de estrategias de EC y TT en un entorno académico promueve soluciones prácticas y sostenibles al abordar problemáticas relacionadas con el impacto ambiental y la desconexión entre los proyectos académicos y su comercialización. Durante este proceso, los estudiantes adquirieron habilidades clave para tomar decisiones de diseño que minimizan el impacto ambiental, optimizan el uso de recursos y fomentan la protección intelectual mediante el registro ante el IMPI, facilitando así la comercialización y transferencia de los productos diseñados.

La EC en el diseño industrial de mobiliario permite mitigar el impacto ambiental, optimizar recursos y fomentar prácticas sostenibles. Al integrar estrategias como el diseño modular y la reutilización de materiales, se extiende la vida útil de los productos y se promueve un modelo de consumo responsable. En el ámbito académico, la EC fortalece la formación práctica de estudiantes, preparándolos para desarrollar proyectos innovadores y sostenibles que equilibran sostenibilidad ambiental, viabilidad económica y funcionalidad social.

La TT conecta la academia con la industria al facilitar la protección de la propiedad intelectual, la comercialización de diseños y la generación de beneficios económicos. Mediante el registro ante organismos como el IMPI y la documentación rigurosa, la TT asegura la viabilidad técnica y comercial de los productos, promoviendo la innovación y trasladando conocimientos académicos a soluciones prácticas que responden a las demandas del mercado.

Night Studio ejemplifica cómo el diseño de muebles puede integrar sostenibilidad, funcionalidad y viabilidad comercial. Este proyecto aborda necesidades como ergonomía y almacenamiento eficiente, minimizando el impacto ambiental mediante materiales optimizados y procesos sostenibles. Además, destaca la conexión entre academia e industria al lograr protección industrial, reconocimiento y potencial comercial, demostrando el

valor de vincular el diseño académico con las demandas del mercado.

En futuras investigaciones debe enfocarse en evaluar la replicabilidad de esta metodología en otros sectores productivos, así como en desarrollar indicadores específicos que permitan medir el impacto de la economía circular y la transferencia tecnológica en términos de sostenibilidad ambiental, social y económica.

REFERENCIAS

- [1] Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, “Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition”, Ellen MacArthur Foundation, rep. 1, 2013.
- [2] L. Cabello, J. Morgan y E. S. Díaz, “Innovación en la industria del mueble”, en *Economía circular y ecodiseño en la industria del mueble*, L. Cabello et al., eds. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro, 2020, pp. 17-31.
- [3] L. Zanitti y M. Castellaro, “Modelos para la Transferencia en las Universidades, análisis del contexto institucional”, en *La vinculación universidad-empresa para el desarrollo integral con impacto social*, REDUE-ALCUE, UDUAL, 2018, pp. 200-216.
- [4] M. Castellanos, C. Almaraz, y R. A. Ríos, “¿Qué debe saber, hacer y ser el diseñador industrial de la UACJ del mañana?”, *Cult. Científ. y Tecnol.*, vol. 19, n.º 1, pp. 1-7, feb. 2022, doi: [10.20983/culcyt.2022.1.2.1](https://doi.org/10.20983/culcyt.2022.1.2.1).
- [5] R. Abesadze, “‘Green’ and ‘Circular’ Economy: Essence and modern challenges”, *IJONESS*, vol. 2, n.º 10, pp. 329-345, 2019, doi: [10.5604/01.3001.0013.8454](https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.8454).
- [6] G. Carrillo, Á. W. Vázquez, y S. Solís, “Ecodiseño: estrategia clave para la economía circular empresas del sector mueblero”, en *Economía circular y ecodiseño en la industria del mueble*, L. Cabello et al., eds. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro, 2020, pp. 94-124.
- [7] Fundación Ellen MacArthur. “Es hora de crear una economía circular”. Ellen MacArthur Foundation. Disponible: <https://ellenmacarthurfoundation.org/es> (accedido: oct. 28, 2024).
- [8] A. T. Rosário, P. Lopes y F. S. Rosario, “Sustainability and the Circular Economy Business Development”, *Sustainability*, vol. 16, n.º 4, p. 6092, jul. 2023, doi: [10.3390/su16146092](https://doi.org/10.3390/su16146092).
- [9] G. Carrillo y M. I. Miranda. “Innovar para la economía circular en la industria de muebles de madera. Un análisis bibliométrico”, presentado en *CIGECOM 2021*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. [En línea]. Disponible: https://gestioncompetitiva.org/2021/index.php/congreso/detalle_trabajo/7/index.html/18
- [10] D. Norman, *Design for a Better World*, 1.ª ed. Cambridge: MIT Press, 2023.
- [11] K. M. Faridul, P. György, T. Alpár, “Nanotechnology in Paper and Wood Engineering”, en *Nanotechnology in Paper and Wood Engineering*, R. Bhat, A. Kumar, T. A. Nguyen y S. Sharma, eds. Elsevier, 2022, cap. 4, pp. 61-80, doi: [10.1016/B978-0-323-85835-9.00014-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85835-9.00014-3).
- [12] A. Cáceres, H. Estrada, y M. Sánchez, “Preferencias de consumo en el caribe colombiano sobre mobiliario de madera con atributos ambientales”, *Información tecnológica*, vol. 33, n.º 4, pp. 141-150, 2022, doi: [10.4067/S0718-07642022000400141](https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000400141).
- [13] D. Ferky, “Concept of Circular Economy in Eco-Friendly Furniture Design”, *J. Des. Sci. Appl. Arts*, vol. 3, n.º 1, pp. 80-89, 2022, doi: [10.21608/jdsaa.2021.101152.1140](https://doi.org/10.21608/jdsaa.2021.101152.1140).
- [14] L. Barahona, K. Z. Zulay y T. F. Ruiz, “Alternativas de solución para minimizar los impactos ambientales generados por los residuos del sector de muebles de madera de la localidad de Engativá en Bogotá D.C.”, trabajo de grado, Universidad Libre, 2017.
- [15] A. C. González, B. A. Jacinto, G. Salas, y V. A. Tapia, “Análisis y proyección financiera de la industria muebles en México”, tesis de ingeniería civil, Instituto Politécnico Nacional, 2016.
- [16] ONUDI, “Informe sobre el Desarrollo Industrial 2016: El rol de la tecnología y la innovación en el desarrollo industrial inclusivo y sostenible. Resumen”, Viena, ONUDI, informe 447, 2016.
- [17] W. J. Zhang, J. W. Li y B. Zettl, “Classification of design theories and methodologies for effective industrial

- applications”, 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Singapur, 2012, pp. 1255-1260, doi: [10.1109/ICIEA.2012.6360915](https://doi.org/10.1109/ICIEA.2012.6360915).
- [18] M. Arbeláez. “Los problemas de diseño: un panorama en expansión”. diCom.org <https://maestriadicom.org/articulos/los-problemas-de-diseno-un-panorama-en-expansion/> (accedido: oct. 17, 2024).
- [19] V. Rojas, “Actualidad de las metodologías de diseño industrial para la para la diversidad funcional locomotriz”, *I+D Revista de Investigaciones*, vol. 15, n.º 1, pp. 99-110, 2020, doi: [10.33304/revinv.v15n1-2020011](https://doi.org/10.33304/revinv.v15n1-2020011).
- [20] V. K. Rosas, V. Becerril y A. D. Murga, “Diseño de un objeto: De lo simple a lo complejo”, en *2.º Cong. Int. de Arquitectura y Diseño 2019*, Tijuana, 2019. [En línea]. Disponible: <https://citecuvp.tij.uabc.mx/pos/wp-content/uploads/2021/01/MEMORIAS-CIAD-2019.pdf>
- [21] L. Asión-Suñer y I. López-Forniés, “Analysis of Modular Design Applicable in Prosumer Scope. Guideline in the Creation of a New Modular Design Model”, *Appl. Sci.*, vol. 11, n.º 22, 2021, doi: [10.3390/app112210620](https://doi.org/10.3390/app112210620).
- [22] L. Asión-Suñer y I. López-Forniés, “Adoption of modular design by makers and prosumers. A survey”, *Proceedings of the Design Society*, vol. 1, pp. 355-364, ag. 2021, doi: [10.1017/pds.2021.36](https://doi.org/10.1017/pds.2021.36).
- [23] L. Asión, “Estudio de los métodos de diseño modular y sus aplicaciones”, trabajo fin de máster, Universidad de Zaragoza, 2017.
- [24] R. J. Smith, “The Impact of Modular Design on Product Use and Maintenance”, tesis de maestría, College of Architecture, Georgia Institute of Technology, 2009. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/1853/28227>
- [25] R. Marshall, “Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation”, tesis de doctorado, College of Architecture, Loughborough University, 1998. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/2134/2176>
- [26] M. E. Méndez y N. K. Molina, “Reciclaje y economía circular en los emprendimientos: muebles de material reciclado”, *Negocios & Tendencias*, vol. 1, n.º 1, 2024, doi: [10.56469/nt.v1i1.1251](https://doi.org/10.56469/nt.v1i1.1251).
- [27] T. Dovramadjiev, P. Bratanov, K. Cankova y G. Jecheva, “Design of Multifunctional Ergonomic Furniture Made in Computer Environment Through Leading 3D Software Products”, en *Machines, Technologies, Materials 2013, 10.º Int. Congr.*, Bulgaria, sept. 18-20, 2013, pp. 51-52.
- [28] T. Gawroński, “Optimization of furniture technology at design stage”, *Annals of WULS - SGGW. Forestry and Wood Technology*, vol. 73, pp. 30-35, 2011.
- [29] IPN. “Transferencia de Tecnología. Protección Intelectual”. IPN.mx. Accedido: feb. 10, 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.ipn.mx/dsett/transferencia-tecnologica.html>
- [30] D. G. Codner, “Gestión de la Vinculación y Transferencia Tecnológica en las Universidades Argentinas”, *Ciencia, Tecnología y Política*, vol. 5, n.º 8, pp. 0-10, 2022, doi: [10.24215/26183188e073](https://doi.org/10.24215/26183188e073).
- [31] E. A. Lenz, N. E. Lenz y J. L. Méndez, “Vinculación y Transferencia Tecnológica con Base en las Prácticas Pre Profesionales, en el Último Ciclo de la Carrera de Diseño Industrial”, trabajo profesional, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2015.
- [32] SECIHTI, “Más apoyos para la ciencia en 2020”, 2019. [En línea]. Disponible: <https://secihti.mx/mas-apoyos-para-la-ciencia-en-2020/#:~:text=Álvarez Buylla declaró que en,la tecnología y la innovación>
- [33] P. Solís-Meza, *Objetivos 2030, IMPI y el Diseño*, en *De los métodos y las maneras* 8, Universidad Autónoma Metropolitana, cap. 7, pp. 85-94, 2022.
- [34] UABC. (Nov. 6, 2017). “Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad Autónoma de Baja California”. Anexo n.º 387, Gaceta UABC. [En línea]. Disponible: https://sriagral.uabc.mx/externos/abogado-general/Reglamentos/ReglamentosInstitucionales/20_Reg_Prop_Intelectual.pdf
- [35] J. B. Padilla, J. W. Zartha, C. Ocampo-López y M. Ramírez-Carmona, “Open Innovation: A Technology Transfer Alternative from Universities. A Systematic Literature Review”, *J. Open Innov.: Technol. Mark. Complex.*, vol. 9, n.º 3, p. 100090, 2023, doi: [10.1016/j.oiotmc.2023.100090](https://doi.org/10.1016/j.oiotmc.2023.100090).

- [36] E. Calderón-Altamirano y J. C. Rodríguez, “Transferencia de tecnología universidad-industria en las universidades públicas estatales de México: Un análisis configuracional”, *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 18, n.º 4, 2023, doi: [10.4067/S0718-27242023000400018](https://doi.org/10.4067/S0718-27242023000400018).
- [37] V. Becerril, A. Calvillo y A. J. Ramírez, “Modelo industrial de mobiliario con funciones de escritorio y mesa estudio de noche”, diseño industrial MX 60689 B, concedido en may. 4, 2021, publicado en la Gaceta de Patentes, Registros, Modelos de Utilidad y de Diseños Industriales, jun. 18, 2021.

RECONOCIMIENTOS

Al Departamento de Propiedad Intelectual y Transferencia de la Universidad Autónoma de Baja California, por su valioso seguimiento y orientación en el proceso de protección del diseño industrial, así como en las gestiones para la transferencia tecnológica.

A la Universidad Autónoma de Baja California y la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, por los recursos asignados y el apoyo brindado al proyecto.

Estudio de calidad de la energía en una industria en Ciudad Juárez, México

Power quality study in an industry in Ciudad Juarez, Mexico

Luis Edwin López López^{1a}  , Francisco Javier Enríquez Aguilera^{1b} , Abel Eduardo Quezada Carreón^{1b} ,
David García Chaparro^{1b} , Jesús Martín Silva Aceves^{1b} 

^{1a}{Doctorado en Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas}, ^{1b}{Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación}, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo analizar los parámetros que afectan la calidad de la energía eléctrica en una industria maquiladora en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, identificando las normas vigentes y las consecuencias de problemas en la calidad de la energía. La metodología empleada incluye la recolección de datos mediante un analizador de red Fluke 1750 Power Recorder, seguido de un análisis detallado de factores como voltaje, corriente, frecuencia y distorsión armónica. Los resultados revelan que la calidad de la energía presenta variaciones significativas que pueden impactar la eficiencia operativa de la industria, así como la vida útil de los equipos. Se proponen acciones de mejora basadas en los hallazgos, destacando la importancia de realizar estudios periódicos para garantizar un suministro eléctrico estable. Este trabajo contribuye a la sustentabilidad al promover un uso más eficiente de la energía, reduciendo costos operativos, lo que a su vez minimiza el impacto ambiental de las operaciones industriales. La implementación de las recomendaciones derivadas del estudio no solo optimiza el rendimiento energético, sino que también fomenta prácticas responsables en el uso de recursos, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible.

PALABRAS CLAVE: calidad de la energía; sustentabilidad; análisis eléctrico; eficiencia energética; optimización.

ABSTRACT

This study aims to analyze the parameters that affect the quality of electrical energy in a maquiladora industry in Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico, identifying current regulations and the consequences of problems in energy quality. The methodology used includes data collection through a Fluke 1750 Power Recorder, followed by a detailed analysis of factors such as voltage, current, frequency, and harmonic distortion. The results reveal that energy quality shows significant variations that can impact the operational efficiency of the industry, as well as the lifespan of equipment. Improvement actions are proposed based on the findings, highlighting the importance of conducting periodic studies to ensure a stable power supply. This work contributes to sustainability by promoting more efficient energy use, reducing operational costs, which in turn minimizes the environmental impact of industrial operations. The implementation of the recommendations derived from the study not only optimizes energy performance but also encourages responsible practices in resource usage, aligning with sustainable development goals.

KEYWORDS: power quality; sustainability; electrical analysis; energy efficiency; optimization.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Luis Edwin López López

INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Ingeniería y Tecnología

DIRECCIÓN: Av. del Charro 450 norte, colonia Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez Chihuahua, México

CORREO ELECTRÓNICO: edwin.lopez@uacj.mx

Fecha de recepción: 28 de mayo de 2025. **Fecha de aceptación:** 10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 4 de agosto de 2025.



I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un recurso vital para el funcionamiento de la industria y el comercio moderno. Su disponibilidad y calidad afectan directamente la operación de los equipos y la eficiencia de los procesos productivos. Sin embargo, la calidad de la energía puede verse comprometida por una serie de factores que, si no se controlan adecuadamente, generan serios problemas en los sistemas eléctricos [1]. Entre los principales parámetros que influyen en la calidad de la energía se encuentran la tensión, la frecuencia, los armónicos, los desequilibrios y las caídas de tensión [2]. Estos problemas pueden causar daños a los equipos, disminuir su vida útil y provocar fallas operativas que se traducen en pérdidas económicas significativas.

Para mitigar estos riesgos, existen diversas normativas que establecen límites y recomendaciones en cuanto a la calidad de la energía suministrada. En el caso de México, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 [3] fija los requisitos mínimos para garantizar una calidad de energía aceptable en instalaciones eléctricas. Esta normativa establece umbrales para la distorsión armónica, el desequilibrio de fase y otros aspectos críticos que deben ser monitoreados y gestionados en las redes eléctricas industriales [3]. Además, en el ámbito internacional, normas como la IEEE 519 [4], y la IEC 61000 [5] proporcionan lineamientos técnicos para la mejora de la calidad energética, aplicables en distintos países y regiones.

La importancia de mantener una buena calidad de energía ha ido en aumento debido a la creciente integración de dispositivos electrónicos y sistemas automatizados en una industria. La demanda de electricidad más limpia y estable es una prioridad para las empresas que buscan optimizar sus operaciones y prolongar la vida útil de sus sistemas. De lo contrario, se enfrentan a problemas como el sobrecalentamiento de equipos debido a armónicos no controlados, paradas inesperadas de la producción causadas por caídas de tensión, o incluso daños irreversibles en maquinaria sensible [6].

A nivel empresarial, muchas compañías se ven obligadas a contratar servicios externos para llevar a cabo análisis exhaustivos de la calidad de la energía, ya que no cuentan con los instrumentos necesarios para monitorear constantemente su red eléctrica. Dispositivos

avanzados, como Fluke 1750 Power Recorder, utilizado en algunas investigaciones, permiten realizar mediciones detalladas en tiempo real de variables como tensión, corriente y potencia, ofreciendo un diagnóstico completo de las perturbaciones que puedan afectar la calidad del suministro eléctrico.

El cumplimiento de normativas, como el Código de Red mexicano, también impone desafíos adicionales a las empresas, especialmente en lo que respecta al factor de potencia, la frecuencia y la estabilidad del sistema eléctrico [7]. Estas regulaciones buscan asegurar que las empresas que superan un umbral de consumo energético operen dentro de parámetros que optimicen la eficiencia energética y reduzcan las pérdidas. El Código de Red establece, por ejemplo, que el factor de potencia debe mantenerse en un 95 % (cifra que aumentará al 97 % a partir de 2026), lo que obliga a las industrias a implementar estrategias de mejora en la gestión de su energía [8].

Desde una perspectiva de sustentabilidad, asegurar una alta calidad de energía no solo es una cuestión técnica, sino que está directamente relacionado con la eficiencia en el uso de los recursos energéticos [9]. El mal uso o la ineficiencia en la gestión de la energía eléctrica pueden llevar a un mayor consumo y desperdicio de recursos, aumentando así la huella de carbono de las operaciones industriales [10]. Por lo tanto, este estudio no solo aborda las soluciones técnicas para mejorar la calidad de la energía, sino que también destaca su contribución a los objetivos de desarrollo sustentable, al promover un uso más racional y eficiente de la electricidad.

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión integral de las medidas necesarias para mantener una calidad óptima de energía en instalaciones industriales y comerciales, así como discutir las implicaciones de no hacerlo. Además, se propone un enfoque educativo y práctico que permita a los ingenieros en formación desarrollar habilidades en el monitoreo y gestión de la energía, favoreciendo la implementación de tecnologías más sostenibles en el futuro.

En última instancia, la mejora de la calidad de la energía no solo beneficia a las empresas al reducir costos y aumentar la productividad, sino que también es un paso esencial hacia un uso más responsable y sustentable de los recursos energéticos.

II. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se estructuró en varias etapas clave para garantizar un análisis exhaustivo de la calidad de la energía eléctrica en una industria maquiladora en donde se realizó. A continuación, se detalla cada una de estas etapas:

Revisión bibliográfica: Se realizó una investigación exhaustiva en diversas fuentes, incluyendo revistas científicas, reportes gubernamentales y normas vigentes relacionadas con la calidad de la energía. Esta revisión permitió identificar los parámetros críticos que afectan la calidad de la energía y las normativas aplicables.

Identificación de parámetros. Se identificaron los principales parámetros que influyen en la calidad de la energía eléctrica, tales como voltaje, corriente, frecuencia, distorsión armónica y transitorios eléctricos. Esta identificación es fundamental para entender los factores que pueden causar problemas en el suministro eléctrico.

Planificación del estudio. Antes de llevar a cabo el estudio, se coordinó con la empresa eléctrica y se realizó una visita a las instalaciones de la maquiladora, durante la cual se hizo un recorrido por las instalaciones para conocer el entorno y determinar los puntos de conexión adecuados para el analizador de red.

Instrumentación y medición. Se utilizó un analizador de red Fluke 1750 Power Recorder para recopilar datos sobre la calidad de la energía. Este equipo permite medir y registrar parámetros eléctricos en tiempo real, lo que facilita la obtención de datos precisos y representativos.

El Fluke 1750 es un analizador de calidad de energía empleado para medir variables eléctricas esenciales en sistemas industriales (Figura 1). A continuación, se detalla el proceso general llevado a cabo para su uso en estudio dentro de la industria maquiladora:

1. Configuración del dispositivo: se programaron las mediciones necesarias (voltaje, corriente, frecuencia, armónicos, factor de potencia, etc.), utilizando el software Power Log, que se conectó al Fluke 1750 mediante un cable USB.



Figura 1. Fluke 1750 Power Recorder. Fuente: reproducida de [11], con el permiso correspondiente.

2. Instalación: el equipo se colocó en el punto de medición adecuado y se conectó al sistema eléctrico mediante pinzas amperimétricas y cables de medición de voltaje.
3. Medición: las lecturas pueden realizarse en tiempo real o de forma programada. Durante la medición, el Fluke 1750 registró continuamente las variables eléctricas del sistema.
4. Descarga y análisis de datos: al finalizar la medición, los datos se transfirieron al software Power Log para su visualización y análisis. Este proceso permitió identificar problemas eléctricos como armónicos, desequilibrios o variaciones de voltaje.
5. Generación de informes: con los resultados obtenidos, se elaboró un informe detallado que se puede usar para diagnosticar y corregir problemas en el sistema eléctrico de la industria maquiladora.

Además, se utilizó un multímetro de pinza Fluke 381 (Figura 2), que es un dispositivo portátil diseñado para medir corriente, voltaje y resistencia en sistemas eléctricos. Su principal ventaja radica en que permite medir la corriente sin necesidad de interrumpir el circuito. Esta herramienta es ideal para electricistas y técnicos, ya que facilita obtener mediciones precisas sin establecer contacto directo con los conductores.

Recolección de datos. Se definió un periodo de medición adecuado para recopilar datos representativos, garantizando que las mediciones reflejen las variaciones en la calidad de la energía a lo largo del tiempo. Este periodo fue seleccionado considerando las distintas condiciones operativas de la maquiladora.



Figura 2. Multímetro de pinza Fluke 381. Fuente: reproducida de [11], con el permiso correspondiente.

La norma IEC 61000-4-30 [12] establece que la prueba de calidad de la energía tendrá una duración de 7 días, lo cual representa una ventaja, ya que la industria maquiladora evaluada opera de forma continua durante toda la semana. Este periodo permite obtener una visión completa de la calidad de la energía bajo diversas condiciones de carga. Durante este tiempo, se empleó el analizador Fluke 1750 Power Recorder para realizar un registro continuo de los datos del sistema eléctrico.

Es posible ajustar la duración según los objetivos del proyecto, la complejidad del sistema o la necesidad de detectar patrones prolongados o problemas esporádicos. Factores como las restricciones presupuestarias también pueden influir en la duración del estudio, ya que este proceso conlleva gastos asociados tanto por la contratación del servicio como por el uso de equipos especializados.

Aunque un periodo más corto puede ser viable, se optó por encontrar un equilibrio entre tiempo y representatividad para asegurar datos precisos que permitan obtener conclusiones fiables sobre la calidad de la energía del sistema.

Al continuar con la fase de planificación, instalación y configuración del Fluke 1750 Power Recorder, esta se llevó a cabo considerando los puntos de medición identificados previamente durante un recorrido técnico (Figura 3). Se puso especial énfasis en la correcta conexión de sondas y cables a paneles de control, dispositivos eléctricos u otros puntos relevantes del sistema.

Ha sido fundamental seguir las indicaciones del manual del equipo para garantizar mediciones precisas y evitar riesgos eléctricos. En algunos casos, fue necesario coordinarse con el personal de la maquiladora para facilitar el acceso a los puntos de conexión y asegurar condiciones de trabajo seguras durante la instalación.

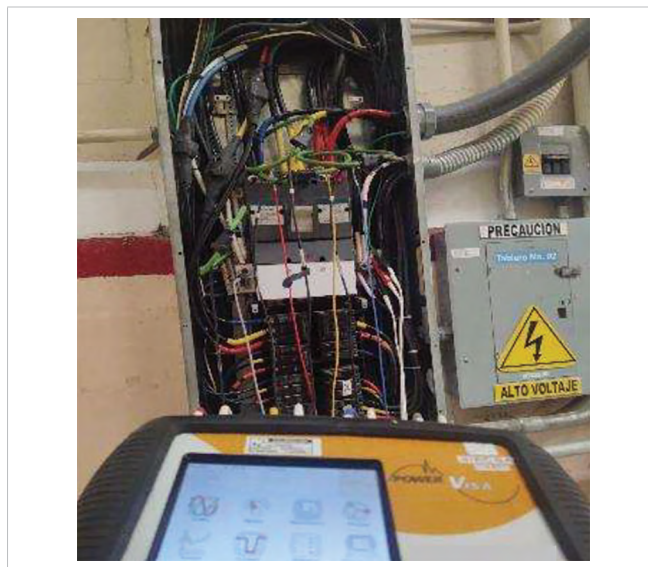


Figura 3. Selección del lugar de conexión.

Para este estudio se seleccionó la configuración “3 fases 4 hilos en estrella”, según las recomendaciones del manual y la experiencia del técnico encargado. Esta elección responde a que el tablero eléctrico está conectado directamente a un transformador con una configuración delta-estrella (Figura 4). En este tipo de conexión, la alimentación llega en tres fases (delta) y se distribuye hacia el tablero en cuatro hilos (estrella), lo cual es habitual en sistemas eléctricos industriales.

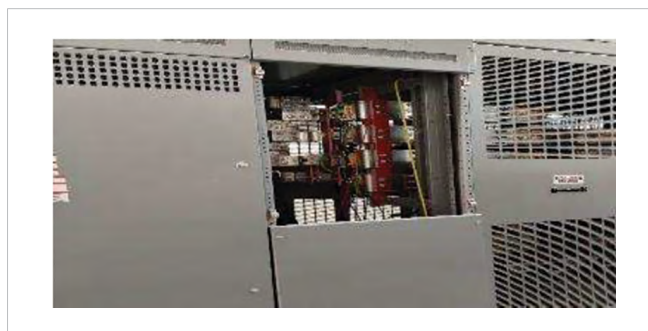


Figura 4. Visualización de parte del tablero a analizar.

La configuración “3 fases 4 hilos en estrella” es adecuada porque permite medir con precisión tanto las tres fases de corriente y voltaje como el neutro. Esto garantiza

un análisis integral de la calidad de energía del sistema. Posteriormente, se realizó la conexión del Fluke 1750 a las fases y al neutro del tablero eléctrico, siguiendo las instrucciones del manual (Figura 5). Esta instalación meticulosa aseguró que se recolectaran datos precisos para evaluar el rendimiento del sistema eléctrico de manera efectiva.

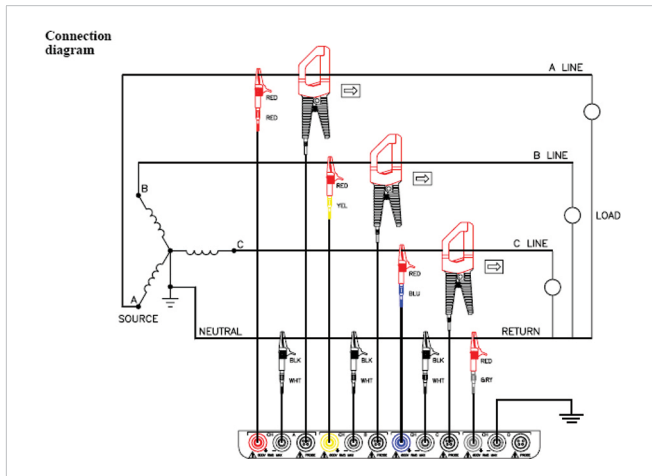


Figura 5. Método de conexión para el analizador al sistema trifásico en estrella. Fuente: [13].

Para ofrecer una explicación más clara sobre el proceso de conexión del equipo, se incorporan fotografías adicionales que detallan cada paso del procedimiento. Estas imágenes (Figuras 6, 7 y 8) complementan la descripción escrita y facilitan una mejor comprensión visual de cómo se llevó a cabo la instalación del Fluke 1750 Power Recorder en el sistema eléctrico de la industria maquiladora.



Figura 6. Apertura del lugar de conexión del equipo analizador.



Figura 7. Inspección del equipo conectado a la red eléctrica de la industria maquiladora.



Figura 8. Equipo conectado y recabando datos.

Es importante destacar que, durante la prueba, se empleó equipos de protección personal específicos para trabajos con riesgo eléctrico, ya que garantizar la seguridad de los trabajadores en entornos eléctricos es una prioridad fundamental. A continuación, se detallan los elementos utilizados en este estudio, así como las normativas que deben cumplir:

- Guantes dieléctricos: proveen protección contra contactos eléctricos y deben cumplir con la norma NOM-113-STPS [14], que establece los requisitos y clasificaciones de resistencia.
- Lentes de protección: previenen lesiones en ojos y rostro frente a impactos, salpicaduras y partículas volátiles, y deben ajustarse a la norma NOM-116-STPS [15].

- Calzado dieléctrico: evita el riesgo de electrocución desde el suelo y debe cumplir con la norma NOM-115-STPS [16].
- Casco de seguridad: protege la cabeza contra golpes y objetos que puedan caer, conforme a las especificaciones de la NOM-115-STPS [16].
- Overol Arc Flash: diseñado para resguardar al trabajador de arcos eléctricos, este traje es resistente a las llamas y protege contra radiación térmica. La selección del overol debe seguir la NOM-017-STPS [17].
- Careta de protección: cubre el rostro y los ojos, brindando defensa contra salpicaduras, partículas, y arcos eléctricos. Es indispensable que cumpla con las normas de seguridad aplicables, como la NOM-116-STPS [15].

El cumplimiento de estas normas garantiza que el equipo utilizado (Figura 9) sea adecuado para mitigar riesgos eléctricos, asegurando un entorno de trabajo más seguro para los operarios.



Figura 9. Método de utilización del equipo de protección en análisis de calidad de la energía.

Análisis de resultados. Una vez recopilados los datos, se realizó un análisis detallado para identificar patrones, anomalías y tendencias en la calidad de la energía. Se compararon los resultados obtenidos con las normas vigentes para determinar el cumplimiento y las áreas de mejora.

Propuestas de mejora. Con base en el análisis de los resultados, se elaboraron recomendaciones y acciones de mejora para optimizar la calidad de la energía en la maquiladora. Estas propuestas se enfocaron en la implementación de tecnologías y prácticas que minimicen las perturbaciones en el suministro eléctrico.

Presentación de resultados. Finalmente, se elaboró un informe que incluye los hallazgos, conclusiones y recomendaciones del estudio. Este informe se presentó a los responsables de la maquiladora, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones informadas sobre la gestión de la calidad de la energía.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según las normas mexicanas, los diagramas de fasores en una red eléctrica deben cumplir con ciertos requisitos específicos que garantizan su precisión y consistencia. Estos requisitos están diseñados para asegurar un análisis correcto del comportamiento eléctrico de la red y facilitar su interpretación técnica. A continuación, se detallan dichos aspectos:

- Voltaje: 127 V, nominal a 60 Hz, con tolerancia de $\pm 5\%$ y $\pm 1\%$ en la frecuencia. El ángulo de fase debe estar entre 0° y $\pm 30^\circ$.
- Corriente: 60 Hz con $\pm 1\%$ de tolerancia, ajustada a la capacidad de los dispositivos y ángulo de fase entre 0° y $\pm 30^\circ$.
- Factor de potencia: mayor a 0.9 con ± 0.1 de tolerancia, mostrando un ángulo cercano a 0° .
- Armónicos: dentro de los límites normativos, indicando magnitud y ángulo para cada armónico.

Estas son algunas de las características exigidas por la norma mexicana NOM-001-SEDE-2012 para garantizar la calidad de la energía [3].

VOLTAJE RMS

Como se observa en la Figura 10, el voltaje teórico esperado es de 277 V, mientras que el valor RMS promedio varía entre 282.41 V y 296.30 V, superando consistentemente el valor teórico.

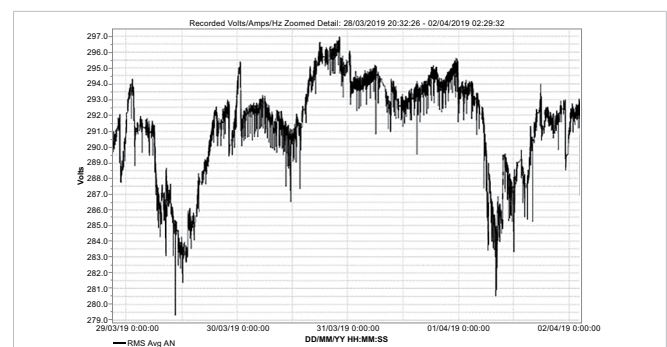


Figura 10. Voltaje RMS fase A-N.

De la misma forma, en la **Figura 11** el voltaje fluctuó entre 281.09 V y 294.27 V. Durante la mayor parte del periodo de monitoreo, se mantuvo por encima del valor nominal de 277 V.

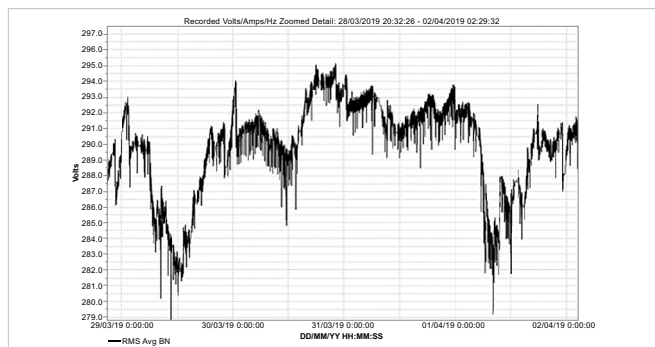


Figura 11. Voltaje RMS fase B-N.

De acuerdo con la **Figura 12**, el voltaje teórico esperado es de 277 V, mientras que el valor RMS promedio se mantuvo entre 281.14 V y 293.73 V, siguiendo un patrón similar al de las otras fases.

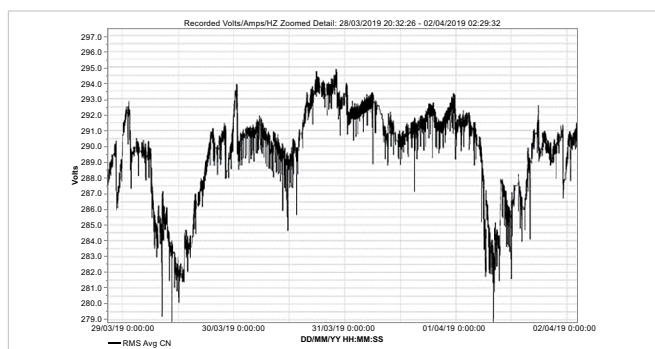


Figura 12. Voltaje RMS fase C-N.

CORRIENTE RMS

La **Figura 13** muestra corrientes RMS máximas de 319.86 A y picos instantáneos (en gris) de hasta 518.17 A.

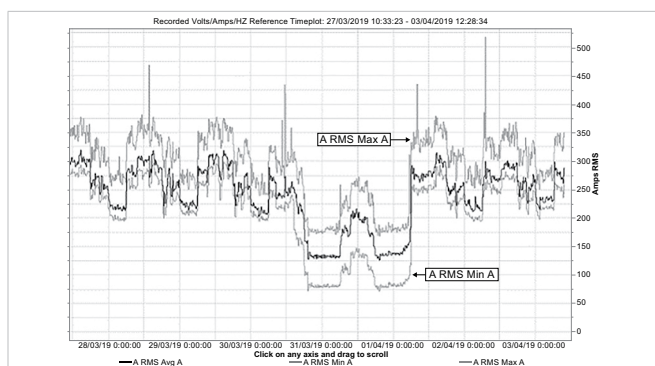


Figura 13. Corriente RMS fase A-N.

DOI: 10.20983/culcyt.2025.2.2e.2

La **Figura 14** evidencia corrientes RMS máximas de 242.96 A y picos instantáneos (en gris) de hasta 411.54 A.

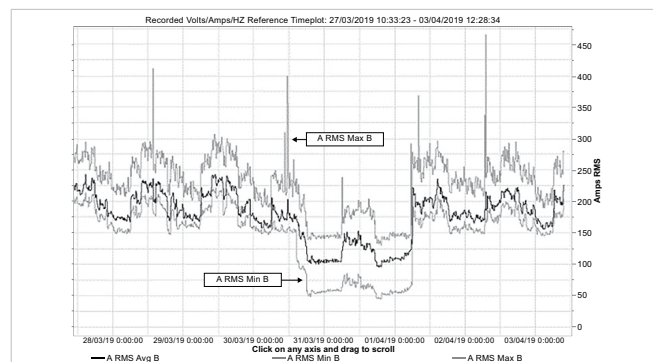


Figura 14. Corriente RMS fase B-N.

La **Figura 15** muestra corrientes RMS máximas de 243.94 A y picos instantáneos (en gris) de hasta 451.82 A, similares a los de las dos fases anteriores.

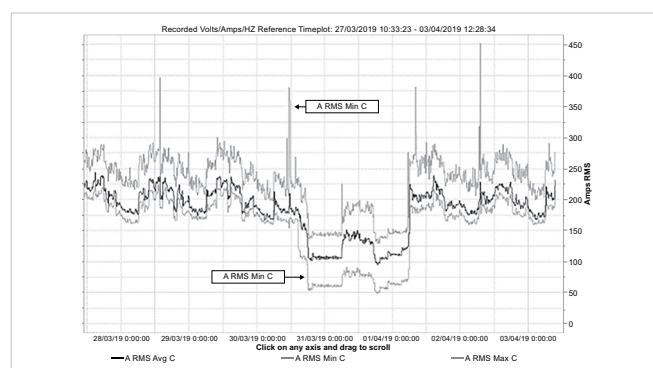


Figura 15. Corriente RMS fase C-N.

FRECUENCIA

La **Figura 16** indica que la frecuencia registrada es adecuada, al mantenerse entre 59.9 Hz y 60.1 Hz. Según la NOM-001-SEDE-2012, la frecuencia nominal en México es de 60 Hz, permitiéndose variaciones de ± 1 Hz, es decir, entre 59 y 61 Hz, sin afectar el funcionamiento del sistema.

La frecuencia depende de la rotación de los generadores en las plantas eléctricas, por lo que cambios en la demanda pueden alterarla. Por ejemplo, un aumento en la demanda puede reducir la frecuencia al requerir más energía para mantener los equipos operando. Además, la calidad de la energía no solo depende de la frecuencia, sino también de factores como armónicos, desequilibrio de cargas y fluctuaciones de voltaje. Por ello, se recomienda un análisis integral para asegurar que la red cumpla con todas las normas aplicables.

ISSN (electrónico): 2007-0411

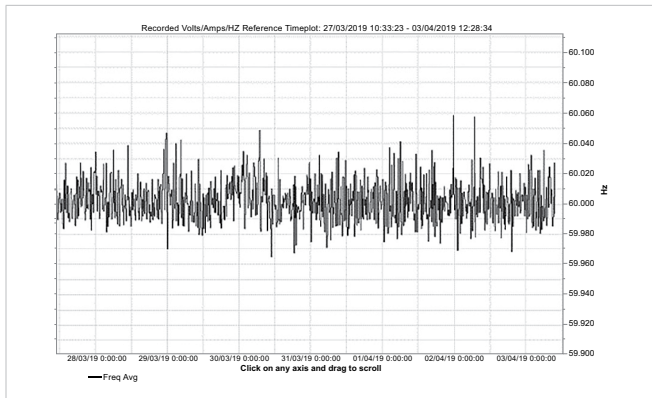


Figura 16. Frecuencia medida.

DISTORSIÓN ARMÓNICA DE VOLTAJE THDV

La Figura 17 revela que la Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDV) se encuentra entre 1.33 % y 2.91 % en un sistema eléctrico con voltajes menores a 1000 V. Estos valores están dentro de los límites establecidos por las normas mexicanas y la IEEE, que fijan un máximo del 5 % para sistemas eléctricos con voltajes de hasta 69 kV. Cumplir con este parámetro garantiza que la calidad de la energía es adecuada, minimizando el riesgo de fallas en los equipos eléctricos conectados a la red.

Un THDV dentro del rango permitido reduce las probabilidades de interferencia en el funcionamiento de dispositivos sensibles, como motores o equipos electrónicos. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que otros factores también influyen en la calidad de la energía, como la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y los cambios en la demanda eléctrica. Un aumento repentino en la carga o un entorno con climas extremos puede generar fluctuaciones en la distorsión armónica, afectando el rendimiento de los sistemas eléctricos.

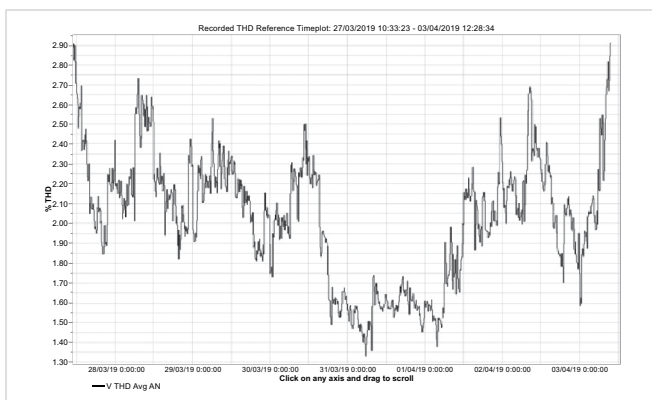


Figura 17. Distorsión armónica de voltaje THDV fase A-N.

Para mantener la estabilidad y el desempeño óptimo de la red, se recomienda realizar monitoreos periódicos de la calidad de la energía y asegurar el mantenimiento preventivo de los equipos. Esto permite identificar y corregir a tiempo cualquier desviación en los parámetros establecidos, evitando daños mayores o interrupciones en la operación. Si se detectan niveles de THDV superiores al límite normativo, será necesario aplicar medidas correctivas, como la instalación de filtros o la redistribución de cargas, para restablecer los niveles aceptables y asegurar el buen funcionamiento del sistema.

La Figura 18 muestra que la Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDV) varía entre 0.85 % y 2.64 % en sistemas eléctricos de menos de 1000 V, cumpliendo con el límite del 5 % establecido por las normas mexicanas e IEEE para sistemas de hasta 69 kV. Esto ayuda a prevenir problemas futuros y asegura el correcto funcionamiento de los equipos conectados. Si se detectan valores de THDV por encima de los límites, es necesario implementar medidas para mejorar la calidad de la energía eléctrica.

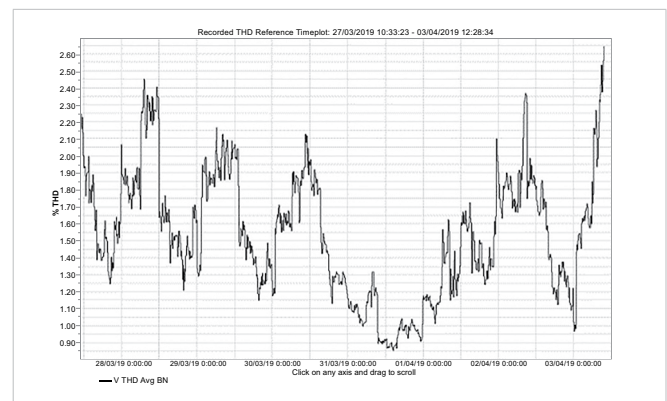


Figura 18. Distorsión armónica de voltaje THDV fase B-N.

Se muestra en la Figura 19 que el valor de la Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDV) varía entre 1.27 % y 2.85 % en un sistema eléctrico de menos de 1000 V. Aunque se encuentra dentro del límite del 5 % establecido por la norma mexicana para sistemas de hasta 69 kV, se aproxima al límite superior, lo que sugiere que la calidad de la energía podría no ser óptima.

Si se superan los límites de THDV, es fundamental implementar medidas correctivas, como la instalación de filtros de armónicos, la corrección del factor de potencia y el remplazo de equipos defectuosos. Esto ayudará

a prevenir futuros problemas y garantizará el adecuado funcionamiento de los equipos eléctricos en la red.

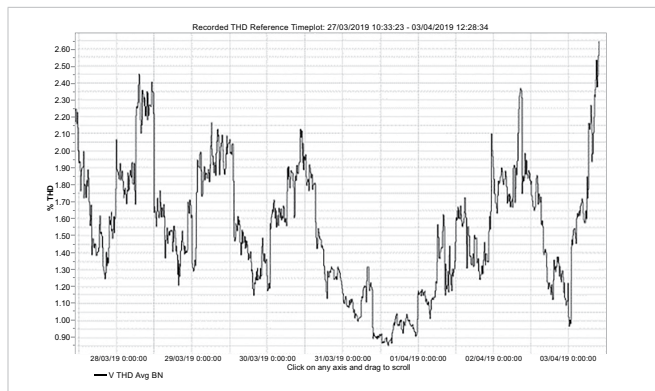


Figura 19. Distorsión armónica de voltaje THDV fase C-N.

DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE THDI

La norma mexicana de calidad de la energía eléctrica de 2012 [3] establece los siguientes límites máximos de THDI para los consumidores conectados a la red de baja tensión:

- 10 % para usuarios residenciales y comerciales.
- 15 % para usuarios industriales y maquiladoras.
- 20 % para aquellos que generen armónicos de corriente que interfieran con otros usuarios en la misma red.

Es fundamental considerar que estos son los límites máximos permitidos y que, en la medida de lo posible, se deben implementar acciones para reducir los niveles de THDI y mejorar sustancialmente la calidad del suministro eléctrico.

La Figura 20 muestra una distorsión armónica total en corriente que varía entre 3.03 % y 9.61 %. Según la norma de 2012, la THDI para la industria maquiladora puede llegar hasta el 20 %.

El hecho de que la THDI se haya registrado entre 3.03 % y 9.61 % indica que la calidad de la energía es aceptable para la mayoría de las cargas eléctricas no sensibles a armónicas. Aunque algunos equipos sensibles podrían enfrentar problemas, la operación general de la industria maquiladora no debería verse afectada significativamente.

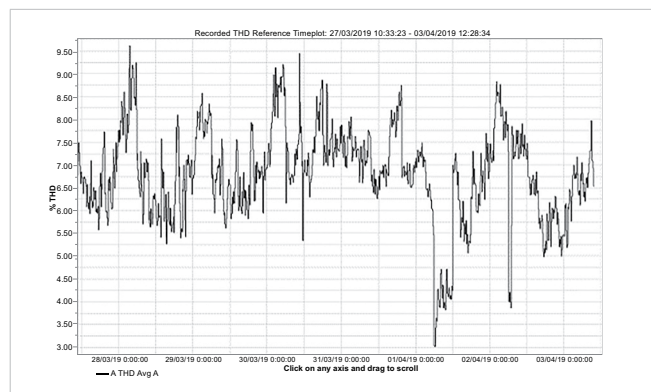


Figura 20. Distorsión armónica de corriente THDI fase A.

La Figura 21 muestra una distorsión armónica total en corriente que varía entre 3.80 % y 11.85 %. Según la norma de 2012, la THDI permitida para la industria maquiladora es de hasta 20 %. Aunque estos valores están dentro de ese rango, se acercan al límite superior, lo que podría ocasionar problemas en algunos equipos eléctricos sensibles a armónicas y afectar la operación industrial. Por ello, se recomienda un monitoreo constante de la THDI y tomar medidas para reducirlo si se aproxima al límite máximo.

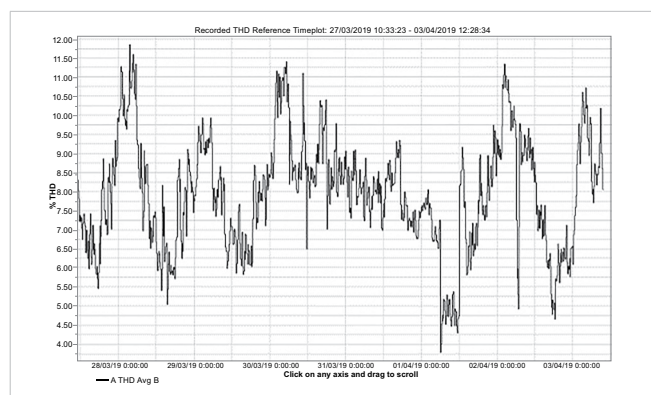


Figura 21. Distorsión armónica de corriente THDI fase B.

La Figura 22 muestra una distorsión armónica total en corriente que varía entre 2.95 % y 10.64 %, con un perfil similar al de fases anteriores. Según la norma de 2012 [3], la THDI en una industria maquiladora no debe exceder el 20 %. Con estos valores, la industria está dentro del rango permitido, lo que sugiere una calidad de energía aceptable para la mayoría de las cargas no sensibles a armónicas. Sin embargo, algunos equipos sensibles podrían enfrentar problemas, por lo que se recomienda un monitoreo continuo de la THDI y tomar medidas si se acerca al límite superior. En general, la operación de la industria maquiladora no debería verse afectada significativamente por la THDI en este rango.

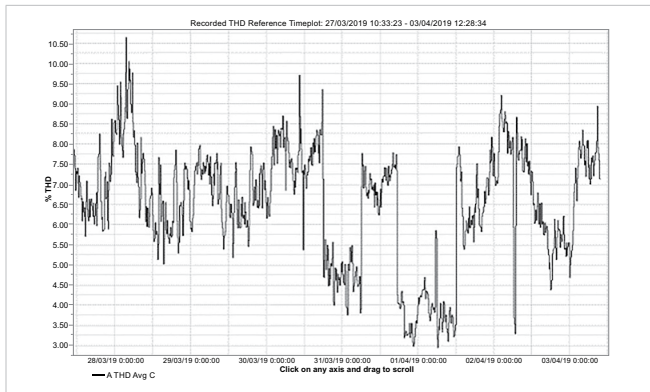


Figura 22. Distorsión armónica de corriente THDI fase C.

POTENCIA REAL

La Figura 23 muestra que la máxima potencia real total registrada es de 227 kW. Según los cálculos, esta potencia es adecuada, ya que el voltaje promedio es de 277 V y la corriente promedio de 319.86 A, con un factor de potencia de 0.80, indicando que la carga es principalmente resistiva e inductiva, lo cual es aceptable para la calidad de energía. Además, la THDI del 7.5 % se encuentra dentro del límite permitido por la norma de 2012 para la industria maquiladora, lo que sugiere que no hay problemas significativos de distorsión armónica. En conclusión, la potencia real de 227 kW cumple con las normas de calidad de energía eléctrica en una industria maquiladora.

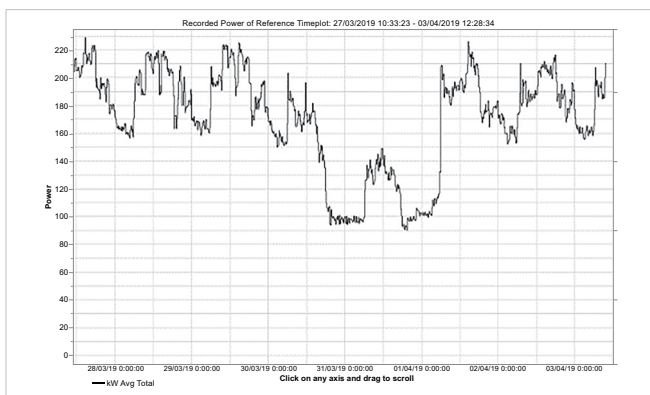


Figura 23. Potencia real en kW.

POTENCIA APARENTE

En la Figura 24 se observa que se registra una potencia activa máxima de 331.69 kVA, con un promedio de 277 V y 319.86 A, un factor de potencia de 0.80 y un THDI de 7.5 %. Se calcula la potencia aparente del sistema maquilador en las ecuaciones (1) y (3) y resultados (2) y (4):

$$\text{potencia aparente} = \text{voltaje} * \text{corriente} \quad (1)$$

$$\text{potencia aparente} = 277 \text{ V} * 319.86 \text{ A} = 88.60 \text{ kVA} \quad (2)$$

Dado que la potencia real es de 227 kW, el factor de potencia se calcula como sigue:

$$\text{factor de potencia} = \frac{\text{potencia real}}{\text{potencia aparente}} \quad (3)$$

$$\frac{227 \text{ kW}}{88.60 \text{ kVA}} = 0.256 \quad (4)$$

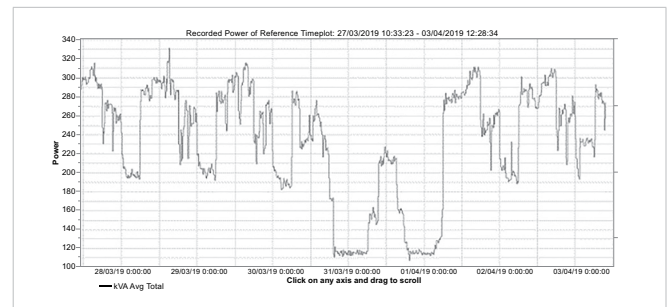


Figura 24. Potencia aparente total en kW.

Este valor indica un consumo significativo de energía reactiva, sugiriendo una sobrecarga en el suministro eléctrico. La THDI está dentro del límite permitido del 20 % según la norma mexicana de calidad de energía eléctrica de 2012 [3].

La potencia aparente es de 88.60 kVA y la potencia real es de 227 kW, lo cual es adecuado para una carga industrial maquiladora. Sin embargo, el factor de potencia de 0.256 sugiere una sobrecarga en el suministro eléctrico, lo que podría afectar el costo y la eficiencia del suministro de energía.

POTENCIA REACTIVA

La Figura 25 muestra que la demanda de potencia reactiva varía entre 90.32 kVAR y 248.99 kVAR. Con valores de 277 V, 319.86 A, un factor de potencia de 0.80 y un THDI de 7.5 %, se calcula una potencia aparente de 399.78 kVA. Dado que la potencia aparente de 331.69 kVA es inferior a la calculada, se concluye que es suficiente para la carga de la industria maquiladora.

La potencia reactiva indica que la carga es altamente inductiva, lo que podría provocar problemas en la red eléctrica, como caídas de voltaje y sobrecalentamiento

de transformadores. Por lo tanto, es fundamental implementar medidas para corregir el factor de potencia y reducir la potencia reactiva, utilizando bancos de capacitores o técnicas de control, para mejorar la eficiencia y calidad de la energía eléctrica.

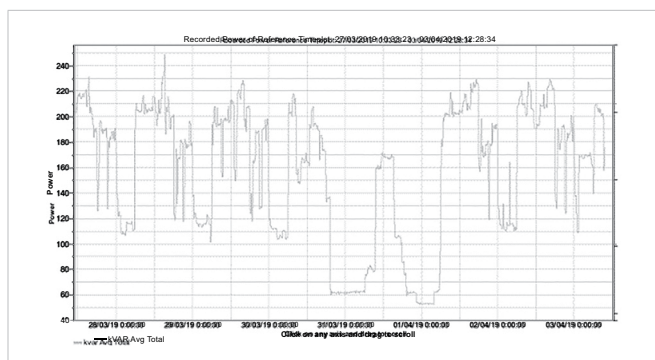


Figura 25. Potencia reactiva total en total en kVAR.

FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia se muestra variable entre el 60 % y el 90 % como se muestra en la Figura 26, lo que sugiere una carga eléctrica con componentes inductivos y/o capacitivos. Un factor de potencia de 1 (100 %) indica una carga puramente resistiva, sin elementos inductivos o capacitivos.

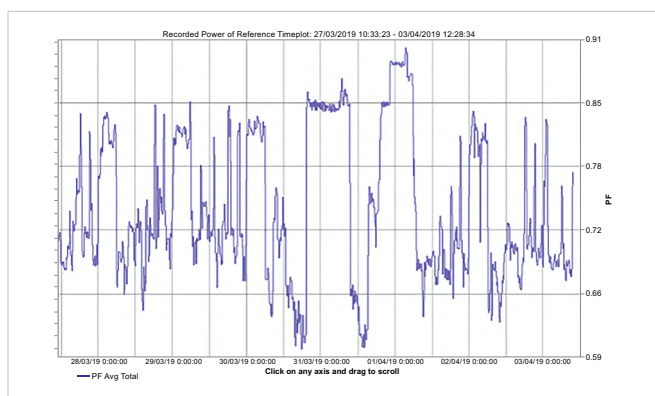


Figura 26. Factor de potencia.

Si el factor de potencia es menor que 1, implica la presencia de carga inductiva, lo que puede causar caídas de voltaje y sobrecargas en el sistema.

Por otro lado, un factor mayor que 1 indica carga capacitiva, lo que podría elevar el voltaje y sobrecargar el sistema. En general, se busca mantener un factor de potencia cercano a 1 para optimizar el uso de energía y prevenir problemas eléctricos.

IV. CONCLUSIONES

El estudio realizado sobre la calidad de la energía eléctrica en una industria maquiladora de Ciudad Juárez ha permitido identificar y evaluar diversos parámetros que afectan el suministro eléctrico. Los hallazgos indican que, en general, la calidad de la energía cumple con los rangos aceptables establecidos por las normas mexicanas en términos de frecuencia, voltaje y distorsión armónica. Sin embargo, se detectó que el factor de potencia se encuentra fuera de los límites recomendados, lo que puede impactar negativamente en la eficiencia energética y en los costos operativos de la maquiladora.

La identificación de problemas como fluctuaciones de voltaje, armónicos y desequilibrios de fases resalta la importancia de realizar estudios periódicos de calidad de la energía. Las recomendaciones propuestas, que incluyen la instalación de capacitores y equipos de control, son esenciales para mejorar el factor de potencia y, por ende, la eficiencia del sistema eléctrico.

Las futuras líneas de investigación derivadas de los resultados de esta investigación se mencionan a continuación:

Monitoreo continuo: implementar sistemas de monitoreo continuo de la calidad de la energía en tiempo real para detectar y corregir problemas de manera proactiva. Esto podría incluir el uso de tecnologías avanzadas como IoT (Internet de las Cosas) para la recopilación de datos.

Impacto de la energía renovable: investigar cómo la integración de fuentes de energía renovable, como la solar o eólica, afecta la calidad de la energía en la maquiladora. Esto es especialmente relevante en el contexto de la transición hacia energías más sostenibles.

Efectos de la carga no lineal: profundizar en el análisis de cómo las cargas no lineales, que son comunes en entornos industriales, afectan la calidad de la energía y proponer soluciones específicas para mitigar sus efectos.

Estudios comparativos: realizar estudios comparativos entre diferentes maquiladoras para identificar mejores prácticas y estrategias efectivas en la gestión de la calidad de la energía.

Normativas y regulaciones: investigar el impacto de las normativas y regulaciones en la calidad de la energía, así como la efectividad de su implementación en una industria maquiladora.

Estas líneas de investigación no solo contribuirán a mejorar la calidad de la energía en una industria maquiladora, sino que también ayudarán a fomentar un uso más eficiente y sostenible de los recursos energéticos en la región.

REFERENCIAS

- [1] X. Liang, “Emerging power quality challenges due to integration of renewable energy sources”, *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 53, n.º 2, pp. 855-866, mar.-abr. 2017, doi: [10.1109/TIA.2016.2626253](https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2626253).
- [2] S. Ahmad, A. Iqbal, I. Ashraf y M. Meraj, “Improved power quality operation of symmetrical and asymmetrical multilevel inverter using invasive weed optimization technique”, *Energy Reports*, vol. 8, pp. 3323-3336, 2022, doi: [10.1016/j.egyr.2022.01.122](https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.122).
- [3] *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)*. Ciudad de México: Gobierno de México, 2019. Accedido: sept. 24, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/512096/NOM-001-SEDE-2012.pdf>
- [4] O. H. Abdalla, S. Elmasry, M. I. El Korfolly e I. Htita, “Harmonic Analysis of an Arc Furnace Load Based on the IEEE 519-2014 Standard”, *2022 23rd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, El Cairo, Egipto, 2022, pp. 1-7, doi: [10.1109/MEPCON55441.2022.10021725](https://doi.org/10.1109/MEPCON55441.2022.10021725).
- [5] E. Stano y S. Wiak, “The Accuracy of Evaluation of the Requirements of the Standards IEC 61000-3-2 (12) with the Application of the Wideband Current Transducer”, *Sensors*, vol. 24, n.º 11, p. 3693, 2024, doi: [10.3390/s24113693](https://doi.org/10.3390/s24113693).
- [6] S. Barcón, R. G. Cepeda e I. Martínez, *Calidad de la energía: factor de potencia y filtrado de armónicas*. McGraw-Hill Educación, 2012.
- [7] L. A. Flores, M. D. Cossío y D. C. Salas, “Naturaleza y alcance jurídico del Código de Red, en el sistema eléctrico mexicano”, *EDUTEC*, vol. 26, n.º 27, pp. 101-121, 2020, doi: [10.58299/edu.v26i27.263](https://doi.org/10.58299/edu.v26i27.263).
- [8] *Resolución RES/550/2021 de la Comisión Reguladora de Energía por la que se expiden las Disposiciones Administrativas de Carácter General que contienen los criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional: Código de Red*. Ciudad de México: Gobierno de México, 2021. Accedido: sept. 24, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639920&fecha=31/12/2021#gsc.tab=0
- [9] G. E. Harper, *El ABC de la calidad de la energía eléctrica*. Editorial Limusa, 2006.
- [10] F. García, “Economía circular en la industria de la moda: avances y valorización del PET. Análisis de la huella de carbono”, trabajo fin de grado, Universidad de Cantabria, 2020. Accedido: sept. 24, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10902/19160>
- [11] Fluke, “Registrador Trifásico de Calidad Eléctrica Fluke 1750”, fluke.com. <https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/1750> (accedido: sept. 24, 2023).
- [12] A. E. Legarreta, J. A. Bortolin, y J. H. Figueroa “An IEC 61000-4-30 class a—Power quality monitor: Development and performance analysis”, en *11th Int. Conf. on Electrical Power Quality and Utilisation*, 2011, pp. 1-6, doi: [10.1109/EPQU.2011.6128813](https://doi.org/10.1109/EPQU.2011.6128813).
- [13] Dranetz, “Power Xplorer / Power Guide / Power Visa”, dranetz.com, 2008. https://www.dranetz.com/wp-content/uploads/2014/02/PX5_PG_PV_QuickReference_RevC.pdf (accedido: oct. 23, 2024).
- [14] *Norma Oficial Mexicana NOM-113-STPS-1994, Calzado de protección*. Ciudad de México: Gobierno de México, 1996. Accedido: oct. 23, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.himfg.edu.mx/descargas/documentos/transparencia/pot/fraccion_xiv/166norma22.pdf
- [15] *Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-116-STPS-1994, Seguridad-Respiradores purificadores de aire contra partículas nocivas, para quedar como PROY-NOM-116-STPS-2009, Respiradores purificadores de aire de presión negativa contra partículas nocivas-Especificaciones y métodos de prueba*. Ciudad de México:

Gobierno de México, 2009. Accedido: oct. 23, 2024. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5110840

[16] Norma Oficial Mexicana NOM-115-STPS-1994, *Cascos de protección-Especificaciones, métodos de prueba y clasificación*. Ciudad de México: Gobierno de México, 1996. Accedido: oct. 23, 2004. [En línea]. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/stps/stps115.pdf>

[17] Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, *Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo*. Ciudad de México: Gobierno de México, 2008. Accedido: oct. 23, 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/nom-017.pdf>

RECONOCIMIENTOS

El autor principal expresa su más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el invaluable apoyo brindado durante la realización de este trabajo. Gracias a la beca otorgada bajo el CVU 1338349, fue posible llevar a cabo esta investigación con dedicación plena y acceder a los recursos técnicos y académicos necesarios para cumplir los objetivos propuestos.

Genetic Algorithms and Repurposed Electronics: Revolutionizing E-Waste Mitigation

Algoritmos genéticos y electrónica reutilizada: Revolucionando la mitigación de residuos electrónicos

Michael Dorin¹ 

¹Department of Software Engineering and Data Science, University of St. Thomas, St. Paul, MN, US

ABSTRACT

The fast pace of technological advancement and consumer demand contribute to an ever-growing accumulation of electronic waste. These devices' improper disposal and inadequate recycling have led to environmental degradation and potential health hazards due to hazardous substances. Moreover, this issue also adds to the depletion of valuable resources. To address the e-waste problem, innovative approaches are crucial. Many solutions attempt to exploit e-waste by having the obsolete devices perform work less substantially than initially designed. This study, in contrast, demonstrates that it is possible to repurpose e-waste electronics for sophisticated jobs. Specifically, the power of CPU boards from outdated tablets was harnessed to execute genetic algorithms. The successful results from the experiments in this study show that it is possible to use outdated devices to perform tasks such as fine-tuning antennas and attitude optimization of aerospace devices. By transforming discarded electronics into valuable resources for specific applications, we can help mitigate the environmental impact and contribute to a more responsible technological ecosystem.

KEYWORDS: genetic algorithm; e-waste; electronic waste; e-waste solution.

RESUMEN

El rápido ritmo de los avances tecnológicos y la demanda de los consumidores contribuyen a una acumulación cada vez mayor de residuos electrónicos. La eliminación incorrecta y el reciclaje inadecuado de estos aparatos han provocado la degradación del medio ambiente y riesgos potenciales para la salud debido a las sustancias peligrosas. Además, este problema contribuye al agotamiento de recursos valiosos. Para abordar el problema de los residuos electrónicos, es crucial adoptar enfoques innovadores. Muchas soluciones intentan explotar los residuos electrónicos haciendo que los dispositivos obsoletos realicen un trabajo menos sustancial que el diseñado inicialmente. Este estudio, por el contrario, demuestra que es posible reutilizar aparatos electrónicos de desecho para realizar trabajos sofisticados. En concreto, se aprovechó la potencia de las placas CPU de tabletas obsoletas para ejecutar algoritmos genéticos. Los resultados satisfactorios de los experimentos de este estudio demuestran que es posible reutilizar dispositivos obsoletos para realizar tareas como el ajuste fino de antenas y la optimización de la actitud de dispositivos aeroespaciales. Al transformar equipo electrónico desechado en recursos valiosos para aplicaciones específicas, podemos ayudar a mitigar el impacto ambiental y contribuir a un ecosistema tecnológico más responsable.

PALABRAS CLAVE: algoritmo genético; residuos electrónicos; residuos electrónicos; solución a los residuos electrónicos.

Corresponding author:

NAME: Michael Dorin

INSTITUTION: University of St. Thomas

ADDRESS: 2115 Summit Ave, SCC 317, St. Paul Minnesota 55105 USA

E-MAIL: mike.dorin@stthomas.edu

Received: 29 May 2025. Accepted: 10 July 2025. Published: 31 August 2025.



I. INTRODUCTION

Electronic waste (e-waste) is a significant global problem due to the escalating volume of discarded electronic devices. In 2019, an estimated 53.6 million metric tons of e-waste was generated worldwide, which is expected to grow [1]. Many electronic devices are not appropriately recycled, so finding e-waste solutions is meaningful and necessary [2].

Traditionally, properly recycling e-waste goes through several steps. The electronic device is first dismantled, and its parts sorted. Hazardous materials, such as batteries, are removed, and the remaining e-waste is shredded. Metals and plastics from the shredded materials are separated for final recycling [3]. One way to improve proper e-waste disposal participation is through better recycling practices. Farjana *et al.* present an IoT and Cloud-based system for e-waste recycling management. They provide information on improving recycling practices using better surveillance of the problem [4].

Repurposing as a means of coping with e-waste is also noteworthy and has been explored in several papers. Kim and Paulos discuss challenges and practices of creative reuse, such as using discarded electronics for creative arts and crafts [5]. Coughlan *et al.* discuss repurposing computer components in various ways, such as creating new thin clients. They correctly point out that the manufacturing process of electronic components is significant and dictates the optimal use of such devices [6]. Repurposing has also been successfully used to provide affordable access to electronic devices, particularly in resource-constrained communities, facilitating digital inclusion to bridge the digital divide [7].

Although there are many creative approaches to achieving reuse, finding a new use for a device once it has reached obsolescence can be challenging. In many approaches, repurposed devices are put into service, performing tasks of more secondary importance than their original design. This paper instead explores using the discarded devices for greater purposes by creating a computational cluster from discarded mainboards. This cluster uses old CPU boards to execute genetic algorithms to solve optimization problems.

A genetic algorithm is an optimization technique inspired by the principles of natural selection. Genetic algorithms are often used to find very close, approxi-

mate solutions to complex optimization problems. They consist of components such as selection, crossover, and mutation. Selection favors solutions with the highest fitness [8]. In a genetic algorithm, population is a set with probable solutions that may solve the given problem. A chromosome is one of the possible solutions in the population. A gene is a part of a chromosome [9].

Two specific physics-related optimization challenges are examined for this investigation. The first experiment involves fine-tuning antennas when optimal physical space is unavailable for traditional installations. The second investigation discusses determining the optimal speeds of reaction wheels for maintaining the desired attitude of aerospace devices such as drones.

Successful results were achieved for both experiments. These outcomes offer valuable insights into the potential of repurposed electronics for applications that transcend the device's initial intended use. This work enhances sustainable waste management strategies by examining real-world examples and best practices in repurposing initiatives.

II. METHODOLOGY

Creating the experiment involved several steps, including the construction of the physical system, software setup, and assembling the required data for the genetic algorithm.

A. HARDWARE CONSTRUCTION

The cluster was constructed entirely of repurposed materials and can be seen in [Figure 1](#). The physical specifications of each device are shown in [Table 1](#). For this project, no materials were purchased new. The monitor and keyboard were borrowed from other working systems. The Wi-Fi network hardware was acquired from a store selling used equipment. Even the wood used as the holding rack was left over from other projects.

B. SOFTWARE SETUP

Linux was installed on each device [10]. Once Linux was installed, the standard Python and Fortran programming languages were added. The specific software libraries required for each experiment were installed and modified as necessary. Pyeasyga [11], for the genetic algorithm, and Ray [12], which allows algorithms to be

executed in multiple threads and on multiple hardware, were installed next. Pyeasyga was modified to use Ray. Other specific libraries and programs for each experiment were installed—PyBullet [13] and Basilisk [14] for the attitude experiment and the Antenna Scatterers Analysis Program (ASAP) for antennas [12].

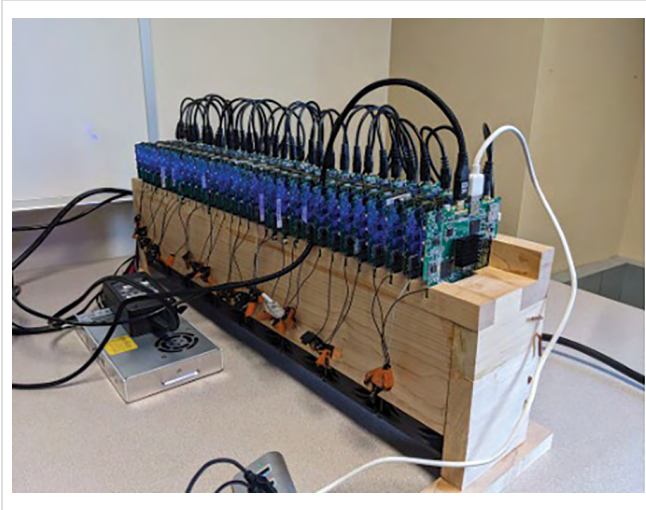


Figure 1. The E-Waste Cluster.

TABLE 1
SOIL CLASSIFICATION

COMPONENT	DETAILS
Processor Speed	1.4Ghz
Type	Quad-Core Intel Atom
Video	HDMI
Networking	Wi-Fi and Bluetooth
USB Ports	3
Operating System	Linux

C. ANTENNA EXPERIMENT

The goal of the antenna experiment was to achieve a standing wave ratio (SWR) of nearly one, for a random wire antenna [15]. The SWR is a measure of how efficiently radio-frequency power is transmitted [15]. A Python program was written to generate the x, y, and z Cartesian coordinates, which indicate the construction of the antenna in three dimensions. In order to generate the initial population, each x, y, and z value were randomly chosen based on a path. Basically, a first point was chosen, then going left or right and going up or down was randomly selected. The experiment was run at various antenna lengths at various frequencies.

D. ATTITUDE EXPERIMENT

Basilisk: In the first part of the attitude experiment, the Basilisk library was used. The goal of this testing was to minimize the amount of time required for a satellite to become stable. A reaction wheel is a flywheel used by spacecraft to control their attitude by varying the rotational speed [16]. The genes in this experiment were the rotational speeds of the satellite reaction wheels for the x, y, and z axes. For the fitness function, the scenarioAttitudeFeedbackRW.py program, included with Basilisk, returned the simulated time required in seconds for stabilization.

PyBullet: In the second experiment, PyBullet was used. First, a tumbling object was created. Within PyBullet, objects will encounter friction and eventually stop tumbling. This experiment requires the GA to determine the reaction wheel speeds necessary to maintain a desired attitudinal rotation. The reaction wheels are simulated using a simple Python function. The Euclidian distance [17] was used to compare against the desired attitudinal rotation.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Since the goal of this paper was to demonstrate the feasibility of repurposed equipment and genetic algorithms, not solving long-standing problems, specific results will not be reported here. However, the genetic algorithm consistently selects antennas optimizing the standing wave ratio (SWR) to be less than 1.5. The genetic algorithm was able to efficiently recommend default reaction wheel speeds to Basilisk. The genetic algorithm was efficiently able to determine wheel speeds to maintain spacecraft attitudinal rotation. Per chromosome time to calculate for Basilisk was ten seconds. For PyBullet, it was two seconds. For ASAP, it was .21 seconds. Overall, the results from the experiments were successful.

IV. CONCLUSIONS

Since the goal of this paper was to demonstrate the feasibility of repurposed equipment and genetic algorithms, not solving long-standing problems, specific results will not be reported here. However, the genetic algorithm consistently selects antennas optimizing the standing wave ratio (SWR) to be less than 1.5. The genetic algorithm was able to efficiently recommend default reac-

tion wheel speeds to Basilisk. The genetic algorithm was efficiently able to determine wheel speeds to maintain spacecraft attitudinal rotation. Per chromosome time to calculate for Basilisk was ten seconds. For PyBullet, it was two seconds. For ASAP, it was .21 seconds. Overall, the results from the experiments were successful.

REFERENCES

- [1] Statista, “Global e-waste - statistics & facts,” 2023. [Online]. Available: <https://www.statista.com/top-ics/3409/electronic-waste-worldwide/#topicOverview>
- [2] S. M. Abdelbasir, S. S. Hassan, A. H. Kamel, and R. S. El-Nasr, “Status of electronic waste recycling techniques: a review,” *Environ Sci Pollut Res*, vol. 25, pp. 16533–16547, 2018, doi: [10.1007/s11356-018-2136-6](https://doi.org/10.1007/s11356-018-2136-6).
- [3] V. Forti, C. P. Baldé, R. Kuehr, and G. Bel, *Global e-waste monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*, Geneva: UNU/UNITAR/SCYCLE Programme/ITU/International Solid Waste Association, 2020.
- [4] M. Farjana, A. B. Fahad, S. E. Alam, and M. M. Islam, “An IoT-and cloud-based e-waste management system for resource reclamation with a data-driven decision-making process,” *IoT*, vol. 4, no. 3, pp. 202–220, 2023, doi: [10.3390/iot4030011](https://doi.org/10.3390/iot4030011).
- [5] S. Kim and E. Paulos, “Practices in the creative reuse of e-waste,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2011, pp. 2395–2404, doi: [10.1145/1978942.1979292](https://doi.org/10.1145/1978942.1979292).
- [6] D. Coughlan, C. Fitzpatrick, and M. McMahon, “Repurposing e-waste as a driver for resource efficiency,” in *EnviroInfo/ICT4S (2)*, 2015, p. 238.
- [7] J. Lepawsky and C. Mather, “From beginnings and endings to boundaries and edges: rethinking circulation and exchange through electronic waste,” *Area*, vol. 43, no. 3, pp. 242–249, 2011.
- [8] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing, 1989.
- [9] section.io, “The basics of genetic algorithms in machine learning” [Online]. Available: <https://www.section.io/engineering-education/the-basics-of-genetic-algorithms-in-m>
- [10] T. L. M. Team, “Linux Mint,” 2006. [Online]. Available: <https://linuxmint.com/>
- [11] A. Remi-Omosowon, “pyeasyga: A simple and easy-to-use implementation of a genetic algorithm library in Python,” 2014. [Online]. Available: <https://github.com/remiomosowon/pyeasyga>
- [12] T. R. Project, “Ray: A unified framework for scaling AI and Python applications,” 2016. [Online]. Available: <https://github.com/ray-project/ray>
- [13] T. B. P. Team, “Bullet Physics: Real-time collision detection and multi-physics simulation for VR, games, visual effects, robotics, machine learning, etc.,” 2013. [Online]. Available: <https://github.com/bulletphysics/>
- [14] T. AVSLab, “Basilisk: An open-source astrodynamics simulation framework,” 2015. [Online]. Available: <https://github.com/AVSLab/basilisk>
- [15] ARRL, *ARRL Antenna Book: The Ultimate Reference for Amateur Radio Antennas, Transmission Lines And Propagation*. ARRL, The National Association for Amateur Radio, 2019.
- [16] P. C. Hughes, *Spacecraft attitude dynamics*. Courier Corporation, 2012.
- [17] L. Liberti, C. Lavor, N. Maculan, and A. Mucherino, “Euclidean distance geometry and applications,” *SIAM Review*, vol. 56, no. 1, pp. 3–69, 2014, doi: [10.1137/120875909](https://doi.org/10.1137/120875909).
- [18] Statista, “Average lifespan of consumer tablets,” 2023. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/267473/average-tablet-life>

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank Opus IVS (<https://www.opusivs.com/>) for providing the materials used in his project. The authors would also like to thank Michael Drew for his extensive efforts in assembling the final cluster.

Translations in this work were performed using DeepL Translator (<https://www.deepl.com/>).

Análisis de correlación: proyectos de tecnología social y percepción del estado de bienestar, Ciudad Juárez: 2010-2020

Correlation Analysis: Social Technology Projects and Perception of the Welfare State, Ciudad Juarez: 2010-2020

Jorge Alejandro Quijano Quian¹ , Iván Juan Carlos Pérez Olguín¹ 

¹Maestría en Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

El presente estudio analiza la correlación entre la implementación de proyectos sociales de carácter tecnológico y la percepción de felicidad y seguridad documentadas en el reporte "Así Estamos Juárez: Sistemas de Indicadores de Calidad de Vida". La tecnología social se presenta como una alternativa colaborativa centrada en las necesidades comunitarias y la innovación social, abordando temas como medio ambiente, desempleo, pobreza y exclusión social mediante proyectos de innovación social. Ciudad Juárez, Chihuahua, México, ha promovido proyectos sociales con un enfoque tecnológico; sin embargo, la implementación de los proyectos de innovación social se ha distribuido de manera inequitativa. Por ello, la relevancia del presente estudio radica en analizar si estos programas tecnológicos sociales influyen sobre la percepción civil del estado de bienestar. El estudio pretende evaluar si existe una correlación significativa sobre la sensación de éxito de los proyectos de tecnología social aplicados entre 2010 y 2020 en la ciudad, por medio de métodos estadísticos: determinando adecuadamente las variables de un análisis de correlación, entre la percepción al estado de bienestar; cuantificado por encuestas y estadística gubernamental, y una muestra de proyectos de tecnología social, recopilados de notas periodísticas e informes de OSFL (organizaciones sociales sin fines de lucro), proporcionando un marco de referencia conforme a la percepción del progreso social con herramientas tecnológicas.

PALABRAS CLAVE: tecnología social; innovación social; proyectos sociales; análisis de correlación; estado de bienestar.

ABSTRACT

This study analyzes the correlation between the implementation of technological social projects and the perception of happiness and security documented in the report "Así estamos Juárez: Sistemas de Indicadores de Calidad de Vida" (Juárez Today: Quality of Life Indicator System). Social technology is positioned as a collaborative alternative focused on community needs and social innovation, addressing issues such as the environment, unemployment, poverty and social exclusion through social innovation projects. Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico, has promoted social projects with a technological focus; however, the implementation of social innovation projects has been unequally distributed. Therefore, the relevance of this study lies in analyzing whether these social technological programs influence the civil perception of the welfare state. The study aims to evaluate whether there is a significant correlation on the perceived effectiveness of social technology projects implemented between 2010 and 2020 in the city, through statistical methods: by properly determining the variables of a correlation analysis, between the perception of the welfare state; quantified by surveys and government statistics, and a sample of social technology projects, collected from news articles and reports from OSFL (non-profit social organizations), providing a frame of reference in accordance with the perception of social progress with technological tools.

KEYWORDS: social technology; social innovation; social projects; correlation analysis; welfare state.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Jorge Alejandro Quijano Quian
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Ave. de Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: al238331@alumnos.uacj.mx

Fecha de recepción: 21 de julio de 2025. **Fecha de aceptación:** 6 de agosto de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2025.



I. INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como objetivo recopilar una muestra de proyectos sociales de tecnología promovidos por los gobiernos municipal y federal y las principales organizaciones de inversión social en Ciudad Juárez. Con ello, se busca examinar la relación entre la frecuencia de estos proyectos y los resultados de estudios previos sobre la percepción ciudadana del bienestar, con el propósito de evaluar la posible correlación entre ambas variables en un contexto urbano. Esto permitirá ofrecer una visión del papel de las implementaciones de tecnología social en la percepción de la calidad de vida en esta ciudad, aportando evidencia que podría guiar el desarrollo de políticas públicas y estrategias de inversión social en el futuro.

El concepto de tecnología social parte de la premisa de reenfocar los beneficios de la producción tecnológica hacia contextos que, debido a su falta de rentabilidad económica, no resultan atractivos para las empresas tradicionales, y centrarse en la atención de segmentos poblacionales vulnerables y desatendidos.

Según Fenoglio [1], la tecnología social propone alternativas socioproductivas que cuestionan los resultados del modelo tradicional y el determinismo tecnológico, es decir, la noción de que todo desarrollo tecnológico y científico brinda soluciones equitativas y universales. En contraste, la tecnología social busca crear soluciones específicas y contextualmente adecuadas para poblaciones marginadas, promoviendo un enfoque centrado en las necesidades comunitarias y ambientales.

La tecnología social busca lograr innovación social con innovaciones tecnológicas de bajo alcance comercial. Ramírez [2] define la innovación social como la implementación de ideas, servicios o modelos para lograr el bienestar personal de los miembros de las comunidades, acortando las brechas en áreas como la educación, el acceso a la digitalización, los servicios de salud, alimentación, vivienda y seguridad, áreas ampliamente relacionadas con el estado del bienestar.

El estado del bienestar, según Collazos [3], es un sistema solidario social, de políticas públicas y estructuras económicas que busca proteger a la ciudadanía de riesgos que afectan su calidad de vida, y los beneficios son vistos en el acceso al seguro social, a servicios de salud, educativos y servicios públicos que mejoren su calidad de vida.

Ciudad Juárez es una urbe altamente tecnológica, con un enfoque industrial y productivo. Con más de 1.3 millones de residentes, más de 300 industrias establecidas y una localización fronteriza privilegiada, la ciudad se ha convertido en uno de los principales centros de desarrollo internacional más importante de la industria maquiladora de exportación [4].

De acuerdo con CERCA [4], el municipio de Juárez, por su importancia estratégica, cuenta con presupuestos significativamente altos destinados principalmente a la creación y entrega de infraestructura relacionada con los parques y zonas industriales que, según Desarrollo Económico de Ciudad Juárez [5], suman 39 áreas planificadas para la producción industrial, 23 parques y 16 zonas industriales. Sin embargo, la cobertura de servicios no ha crecido en la misma proporción. El reporte anual “Así Estamos Juárez”, recopila los Indicadores de Calidad de Vida de la ciudad de forma estadística, así como estudios de percepción y satisfacción de áreas de interés social.

Se identifica como proyectos sociales al conjunto de acciones, beneficios y prestaciones con el propósito objetivo de resolver un problema [6]. La mayoría de las metodologías de diseño de productos y servicios —incluidos tecnológicos— se orientan a la búsqueda de la satisfacción de la necesidad. Según Smith [7], los proyectos sociales y los espacios de creación e innovación sociales patrocinados por ciudadanos, gobierno y donativos de entes privados, pueden facilitar la implementación tecnológica y, en consecuencia, mejorar el acceso a la educación en zonas inaccesibles, el empleo y salud pública con plataformas digitales.

La tecnología social busca dar mejoras visibles y percibidas de la calidad de vida de las comunidades. Para evidenciar la percepción del estado del bienestar en una población como Ciudad Juárez, se cuenta con estudios estadísticos de satisfacción y percepción por parte de encuestadores como el Plan Estratégico de Juárez [8]. Con el fin de darle utilidad a esta base de datos, dada la necesidad de verificar que los beneficios de los proyectos de tecnología social sean visibles, existen análisis de correlación.

Según Santabárbara [9], el análisis de correlación es un estudio con el objetivo de valorar la posible relación entre dos variables para cuantificar el grado de esta relación entre ambas.

II. METODOLOGÍA

En esta investigación se aplicó el método de correlación de Pearson para analizar si existe un impacto, y en qué medida, entre los proyectos de tecnología social y las variables de percepción. Para definir las variables de estudio, se emplearon tanto las estadísticas obtenidas del reporte “Así Estamos Juárez: Sistemas de Indicadores de

Calidad de Vida” [8], como una muestra significativa de iniciativas sociales, específicamente de carácter tecnológico, realizadas entre 2010 y 2020.

La división territorial por distritos electorales establecida por el Instituto Estatal Electoral de Chihuahua [10] fue utilizada para organizar la traza urbana de Ciudad Juárez (Figura 1).

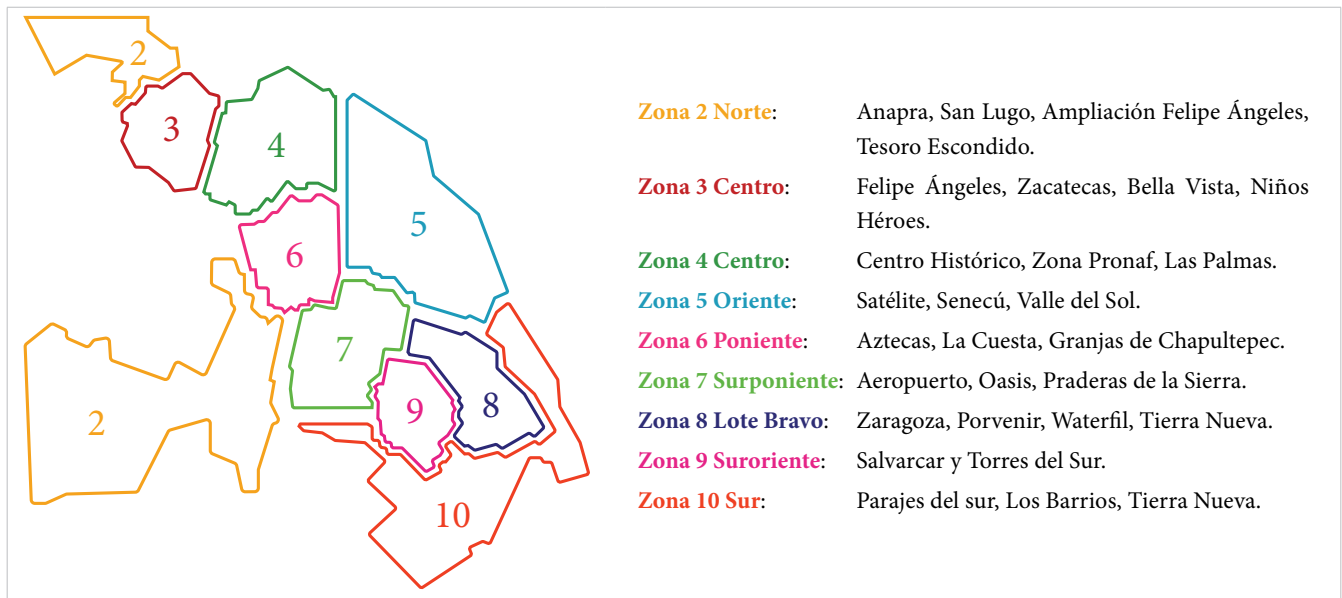


Figura 1. División de distritos de Ciudad Juárez, basada en la segmentación electoral propuesta por el INE [10].

Al obtener los promedios de percepción y satisfacción respecto a la calidad de vida, se generó el primer grupo de variables. A cada proyecto tecnológico de la muestra se le asignó uno o varios de los distritos electorales conforme al lugar de su realización y, posteriormente, fueron categorizados según el área de intervención social, creando así el segundo grupo de variables para el análisis de correlación.

La información sobre los proyectos de tecnología social (Tabla 1) fue recopilada de informes y reportes anuales emitidos por los principales impulsores de la innovación social en Ciudad Juárez —gobiernos estatal y municipal, Fundación del Empresariado Chihuahuense, A.C. (FECHAC) [5], [11], Fundación Paso del Norte [12], [13] y Fundación Comunitaria de la Frontera Norte, A.C. [14]—, así como de notas periodísticas.

TABLA 1*
MUESTRA DE PROYECTOS DE TECNOLOGÍAS SOCIALES REALIZADOS EN CIUDAD JUÁREZ ENTRE 2010 Y 2020

PROYECTO	ÁREA	AÑO	DISTRITOS	INSTITUCIÓN/ES RESPONSABLE/S
Programa de Telemedicina para Atención Primaria	Salud	2019	4, 6, 9, 5	Secretaría de Salud de Chihuahua, Gobierno Municipal de Ciudad Juárez, Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud
Sistema de Monitoreo de Enfermedades Crónicas	Salud	2020	Varios distritos simultáneos	Secretaría de Salud de Chihuahua, Hospital General de Ciudad Juárez, Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)
Programa de Ejercicio y Bienestar en Línea	Salud	2018	4, 6	Secretaría de Salud de Chihuahua, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), DIF Municipal
Programa de Vacunación Móvil	Salud	2019	6, 5, 9	Secretaría de Salud de Chihuahua, IMSS, Gobierno Municipal de Juárez
Iniciativa de Prevención de Adicciones a través de Tecnología	Salud	2016	9, 5, 4	Centros de Integración Juvenil (CIJ), Secretaría de Salud de Chihuahua

TABLA 1 (CONT.)
MUESTRA DE PROYECTOS DE TECNOLOGÍAS SOCIALES REALIZADOS EN CIUDAD JUÁREZ ENTRE 2010 Y 2020

PROYECTO	ÁREA	AÑO	DISTRITOS	INSTITUCIÓN/ES RESPONSABLE/S
Sistema de Información sobre Salud Comunitaria	Salud	2017	5, 6, 9	Secretaría de Salud de Chihuahua, Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP), Gobierno Municipal de Juárez
Programa de Ejercicio y Bienestar en Línea	Salud	2020	4, 5	Secretaría de Salud de Chihuahua, Instituto Chihuahuense del Deporte
Iniciativa de Detección Temprana de Cáncer a través de Tecnología	Salud	2015	6, 2	IMSS, Secretaría de Salud de Chihuahua, Hospital General de Ciudad Juárez
Programa de Salud Familiar Basado en Datos	Salud	2018	2, 9, 6	Secretaría de Salud de Chihuahua, DIF Municipal
Programa de Salud Mental Digital	Salud	2020 - 2024	4, 6, 7, 10, 9	UACJ, Gobierno Municipal de Juárez
Sistema de Alerta Temprana para Desastres Naturales	Salud	2020	Varios distritos simultáneos	Protección Civil de Ciudad Juárez, Gobierno Municipal de Juárez, IMIP
Agua para kilómetros	Salud	2018 - 2023	6, 2, 8, 7, 10, 9	Club Rotario Juárez Ejecutivo, A.C., FECHAC
Iniciativa de Tecnología Móvil para la Educación	Educación tecnológica	2020	9, 6	Secretaría de Educación Pública (SEP), Gobierno Municipal de Juárez
Plataforma de Comercio Electrónico para Artesanos Locales	Educación tecnológica	2020	4, 5	Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Economía
Programa de Capacitación en Tecnología para Jóvenes	Educación tecnológica	2019	Varios distritos simultáneos	UACJ, Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico
Programa de Acceso a Internet en Escuelas	Educación tecnológica	2019 - 2021	4, 9, 5	SEP, Gobierno Municipal de Juárez, Instituto Chihuahuense de Educación
Iniciativa de Inclusión Digital para Personas Mayores	Educación tecnológica	2020	9, 6, 5	Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico, Gobierno Municipal de Juárez, DIF Municipal
Programa de Capacitación en Marketing Digital para Pequeños Negocios	Educación tecnológica	2020	4, 5	Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico, Gobierno Municipal de Juárez, Cámara Nacional de Comercio (CANACO)
Iniciativa de Formación en Robótica para Niños	Educación tecnológica	2020 - 2022	4, 6	SEP, Gobierno Municipal de Juárez, UACJ
Plataforma de Intercambio de Conocimientos y Habilidades	Educación tecnológica	2020 - 2021	Varios distritos simultáneos	Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico, Gobierno Municipal de Juárez
Iniciativa de Acceso a Internet para Zonas Marginadas	Educación tecnológica	2017	9, 2	CFE telecomunicaciones e internet para todos, Gobierno Municipal de Juárez, IMIP, Grupo FUNAX
Fab Lab Móvil y Fab Lab Juárez	Educación tecnológica	2012	Varios distritos simultáneos	Grupo FUNAX, Technology Hub
Microsoft TEALS Program	Educación tecnológica	2010	Varios distritos simultáneos	FECHAC, Grupo FUNAX, Microsoft
Sistema de Reutilización de Aguas Grises	Ambiental	2016	5, 2, 8, 7, 9, 10	Gobierno Municipal de Juárez, Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS)
Proyecto de Captación de Agua de Lluvia	Ambiental	2019	5, 6	Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE)
Sistema de Monitoreo de Recursos Hídricos	Ambiental	2020 - 2021	9, 10	Gobierno Municipal de Juárez, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
Programa de Compostaje Comunitario	Ambiental	2015	3, 6, 4, 5	Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
Programa de Eficiencia Energética en Comunidades	Energética	2019	6, 7, 10, 8, 9	Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Energía (SENER)
Programa de Energía Solar Comunitaria	Energética	2017	4, 2, 5, 7, 10, 9	Gobierno Municipal de Juárez, SENER
Filtros de Agua de Arena	Vivienda y arquitectura urbana	2015	6, 9	Gobierno Municipal de Juárez, JMAS
Sistema de Captación de Energía Solar para Calefacción de Piscinas en Juárez	Vivienda y arquitectura urbana	2016	4, 5	Gobierno Municipal de Juárez, SENER
Iniciativa de Rescate de Patrimonio Cultural	Vivienda y arquitectura urbana	2018	4, 6, 2	Gobierno Municipal de Juárez, Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH)
Programa de Construcción de Viviendas Sustentables	Vivienda y arquitectura urbana	2013	9, 5, 8	Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU)
Proyecto de Viviendas de Adobe Sostenibles	Vivienda y arquitectura urbana	2013	6, 5, 9	Gobierno Municipal de Juárez, SEDUE

TABLA 1 (CONT.)

MUESTRA DE PROYECTOS DE TECNOLOGÍAS SOCIALES REALIZADOS EN CIUDAD JUÁREZ ENTRE 2010 Y 2020

PROYECTO	ÁREA	AÑO	DISTRITOS	INSTITUCIÓN/ES RESPONSABLE/S
Red de Transporte Colectivo Comunitario	Vivienda y arquitectura urbana	2016	9, 8	Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Juárez en acción	Vivienda y arquitectura urbana	2009	Varios distritos simultáneos	Fundación Paso del Norte, FECHAC
Red de Huertos Escolares	Agricultura para autoconsumo	2016	5, 6	SEP, Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
Red de Abastecimiento de Productos Locales	Agricultura para autoconsumo	2018	5, 2, 6	Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Economía
Sistema de Almacenamiento y Distribución de Alimentos	Agricultura para autoconsumo	2019	9, 4	Gobierno Municipal de Juárez, Secretaría de Bienestar
Programa de Huertos Urbanos Comunitarios	Agricultura para autoconsumo	2014	4, 2, 9	Fundación Paso del Norte, Secretaría de Desarrollo Social
Iniciativa de Agricultura Urbana Familiar	Agricultura para autoconsumo	2017	4, 2, 9	Fundación Comunitaria de la Frontera Norte
Modernización del Centro de Emergencia y Respuesta Inmediata (CERI 911)	Seguridad	2020	Varios distritos	Gobierno de Ciudad Juárez, SoftGuard, Jomtel Telecomunicaciones
Sistema de Alertas Vecinales	Seguridad	2016	4, 2, 7, 10, 9	FICOSEC, Gobierno Municipal de Ciudad Juárez, FECHAC
Plataforma de Seguridad Ciudadana	Seguridad	2017	8, 2	FECHAC, Fundación Paso del Norte
Torre Centinela	Seguridad	2020	4	Gobierno del Estado de Chihuahua, Secretaría de Seguridad Pública Estatal
Red de Vigilancia Vecinal	Seguridad	2015	6	FICOSEC, varias Organizaciones de la Sociedad Civil
Programa de Prevención del Delito con Drones	Seguridad	2018	3, 9	Secretaría de Seguridad Pública Municipal
Centros de Inteligencia Ciudadana	Seguridad	2016-2020	8, 10, 3	FICOSEC, FECHAC, Gobierno del Estado de Chihuahua
Plataforma Centinela	Seguridad	2019-	4	Secretaría de Seguridad Pública del Estado de Chihuahua
Red de Apoyo Psicológico a Víctimas de Violencia	Seguridad	2017-2020	4	Plan Estratégico de Juárez, FECHAC

*Fuentes: [2], [5], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información de la [Tabla 1](#) fue analizada y normalizada para describir y comprender mejor los datos ([Figuras](#)

2, 3 y 4). Y cada una de las figuras incluye una tabla de clasificación de los proyectos tecnológicos y la gráfica correspondiente.

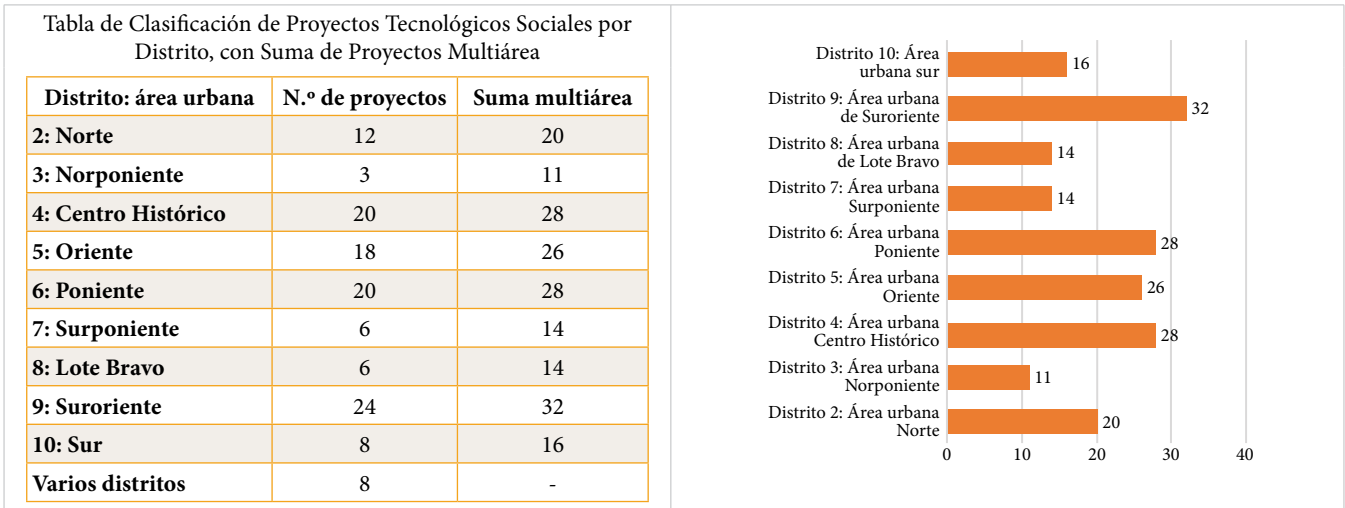


Figura 2. Tabla de clasificación y gráfica de distribución de los proyectos de tecnología social, conforme a los distritos electorales.

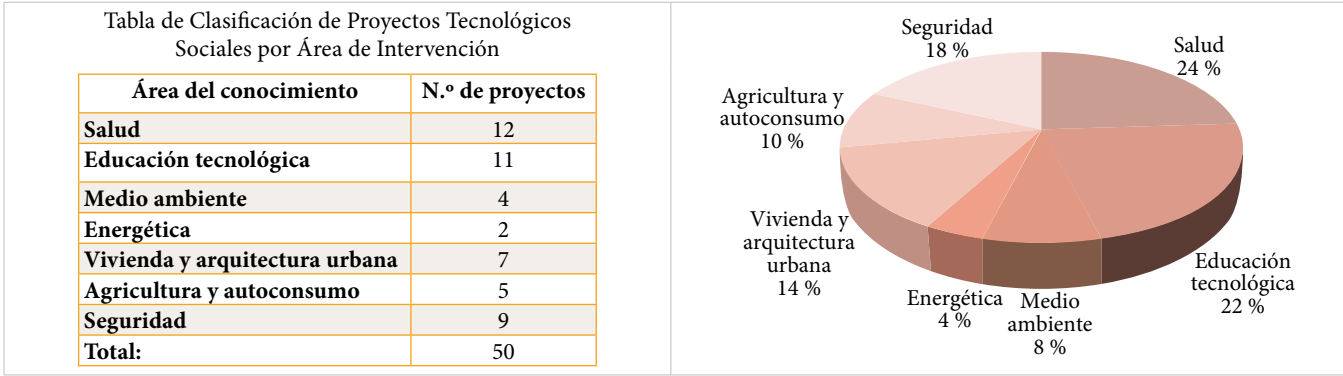


Figura 3. Tabla de clasificación y gráfica de distribución de los 50 proyectos de tecnología social.

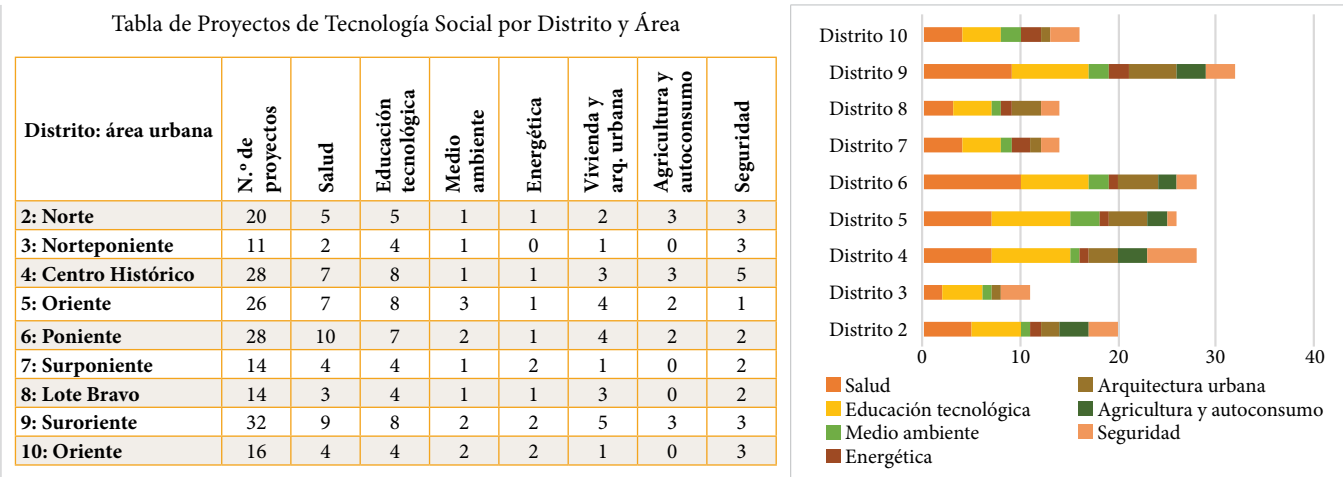


Figura 4. Tabla de clasificación y gráfica de proyectos por distritos, considerando el área de cada proyecto de tecnología social.

Se realizó un análisis de correlación individual para cada una de las áreas de intervención social y tecnológica abordadas en el estudio, con el fin de obtener el valor p y el coeficiente de correlación de Pearson, buscando comprender la relación entre ambas variables (Tablas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9).

to, el valor p resulta demasiado alto, lo que sugiere una alta probabilidad de que la relación entre las variables sea resultado al azar y no de una correlación directa. El coeficiente de correlación de Pearson es negativo y cercano a 0, lo que indica una correlación negativa débil o inexistente.

TABLA 2
PERCEPCIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS SOCIALES DEL ÁREA DE LA SALUD

DISTRITO	SATISFACCIÓN PROMEDIO (X)	PROYECTOS TECNOLÓGICOS (Y)
2	7.50	5
3	7.50	2
4	7.90	7
5	8.00	7
6	7.80	10
7	7.50	4
8	8.50	3
9	7.50	9
10	7.80	4

Dados los datos de la Tabla 2, el valor p = 0.816 y el coeficiente de correlación de Pearson = -0.091. Por tan-

TABLA 3
PERCEPCIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS SOCIALES DEL ÁREA DE LA EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

DISTRITO	SATISFACCIÓN DE LA EDUCACIÓN:				PROYECTOS TECNOLÓGICOS (Y)
	BÁSICA	MEDIA	SUPERIOR	PROMEDIO	
2	8.43	8.54	9.24	8.74	5
3	8.86	8.47	8.84	8.72	4
4	8.57	8.72	8.81	8.70	8
5	8.75	8.84	5.83	7.81	8
6	8.74	8.80	9.13	8.89	7
7	8.50	8.30	8.50	8.43	4
8	8.47	8.87	8.86	8.73	4
9	9.00	8.77	9.00	8.92	8
10	8.50	9.40	9.44	9.11	4

Respecto a los datos de la Tabla 3, el valor p = 0.517 y el coeficiente de correlación de Pearson = 0.154. Por tan-

to, el valor p resulta demasiado alto, lo que sugiere una alta probabilidad de que la relación entre las variables sea resultado al azar y no de una correlación directa. El coeficiente de correlación de Pearson es positivo y cercano a 0, lo que indica una correlación positiva débil o inexistente.

TABLA 4
PERCEPCIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS SOCIALES DEL ÁREA DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL AGUA

DISTRITO	SATISFACCIÓN DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL AGUA (X)	PROYECTOS TECNOLÓGICOS (Y)
2	6.85	1
3	6.52	1
4	7.23	1
5	7.05	3
6	7.39	2
7	7.20	1
8	7.77	1
9	7.43	2
10	7.40	2

Dados los datos de la [Tabla 4](#), el valor $p = 0.718$ y el coeficiente de correlación de Pearson = 0.141. El análisis correspondiente determina que el valor p resulta demasiado alto, lo que sugiere una alta probabilidad de que la relación entre las variables sea resultado al azar y no de una correlación directa. El coeficiente de correlación de Pearson es positivo y cercano a 0, lo que indica una correlación positiva débil o inexistente.

TABLA 5
PERCEPCIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS SOCIALES DEL ÁREA DE SERVICIOS ENERGÉTICOS

DISTRITO	SATISFACCIÓN DE LA CALIDAD DE SERVICIOS ENERGÉTICOS (X)	PROYECTOS TECNOLÓGICOS (Y)
2	5.39	1
3	6.47	0
4	6.78	1
5	5.46	1
6	6.52	1
7	5.78	2
8	4.93	1
9	5.66	2
10	5.53	2

Con relación a los datos de la [Tabla 5](#), el valor $p = 0.348$ y el coeficiente de correlación de Pearson = -0.356. Por tanto, el valor p resulta demasiado alto, lo que sugiere una alta probabilidad de que la relación entre las variables sea resultado al azar y no de una correlación directa. El coeficiente de correlación de Pearson es negativo,

lo que indica una correlación negativa débil pero no inexistente.

TABLA 6
PERCEPCIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS SOCIALES DEL ÁREA DE VIVIENDA Y ARQUITECTURA URBANA

DISTRITO	SATISFACCIÓN CON LA VIVIENDA (X)	PROYECTOS TECNOLÓGICOS (Y)
2	8.57	2
3	8.55	1
4	8.82	3
5	8.83	4
6	8.99	4
7	8.70	1
8	8.81	3
9	8.98	5
10	9.74	1

Respecto a los datos de la [Tabla 6](#), el valor $p = 0.949$ y el coeficiente de correlación de Pearson = 0.025. Por tanto, el valor p resulta demasiado alto, lo que sugiere una alta probabilidad de que la relación entre las variables sea resultado al azar y no de una correlación directa. El coeficiente de correlación de Pearson es positivo y cercano a 0, lo que indica una correlación positiva débil o inexistente.

TABLA 7
PERCEPCIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS SOCIALES DEL ÁREA DE AGRICULTURA Y AUTOCONSUMO Y USO DE ESPACIOS VERDES

DISTRITO	SATISFACCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE ESPACIOS VERDES (X)	PROYECTOS TECNOLÓGICOS (Y)
2	4.56	3
3	3.83	0
4	6.53	3
5	6.95	2
6	5.79	2
7	5.07	0
8	5.94	0
9	6.06	3
10	5.40	0

En lo que respecta a los datos de la [Tabla 7](#), el valor $p = 0.276$ y el coeficiente de correlación de Pearson = 0.408. Por tanto, el valor p resulta demasiado alto, lo que sugiere una alta probabilidad de que la relación entre las variables sea resultado al azar y no de una correlación directa. El coeficiente de correlación de Pearson es positivo y mayor a 0.4, lo que indica una correlación positiva moderada.

TABLA 8
PERCEPCIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS SOCIALES DEL ÁREA DE SEGURIDAD

DISTRITO	SATISFACCIÓN DE SEGURIDAD (X)	PROYECTOS TECNOLÓGICOS (Y)
2	6.58	3
3	8.37	3
4	7.11	5
5	6.80	1
6	7.49	2
7	7.03	2
8	6.67	2
9	7.30	3
10	6.67	3

Dados los datos de la [Tabla 8](#), el valor $p = 0.695$ y el coeficiente de correlación de Pearson $= 0.153$. Por tanto, el valor p resulta demasiado alto, lo que sugiere una alta probabilidad de que la relación entre las variables sea resultado al azar y no de una correlación directa. El coeficiente de correlación de Pearson es positivo y cercano a 0, lo que indica una correlación positiva débil o inexistente.

TABLA 9
PERCEPCIÓN Y CANTIDAD DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS SOCIALES DE MÚLTIPLES ÁREAS

DISTRITO	FELICIDAD MEDIA (X)	PROYECTOS TECNOLÓGICOS (Y)
2	8.02	20
3	8.21	11
4	8.84	28
5	8.43	26
6	8.36	28
7	8.11	14
8	8.38	14
9	8.40	32
10	8.57	16

Y, finalmente, respecto a los datos de la [Tabla 9](#), el valor $p = 0.331$ y el coeficiente de correlación de Pearson $= 0.367$. Por tanto, el valor p resulta demasiado alto, lo que sugiere una alta probabilidad de que la relación entre las variables sea resultado al azar y no de una correlación directa. El coeficiente de correlación de Pearson es positivo, lo que indica una correlación positiva moderada.

El último análisis de correlación ([Tabla 10](#)) agrupa los 50 proyectos de las diversas clasificaciones de intervención social y tecnológica, discriminados por el distrito donde ocurrieron, comparados con la estadística media, dada por la ciudadanía, de autopercepción de la felicidad.

TABLA 10
CORRELACIÓN ENTRE PERCEPCIÓN DEL ESTADO DE BIENESTAR Y PROYECTOS DE TECNOLOGÍA SOCIAL

TIPO DE RESULTADO	SALUD	EDUCACIÓN TECNOLÓGICA	MEDIO AMBIENTE	ENERGÉTICA	VIVIENDA Y ARQUITECTURA URBANA	AGRICULTURA Y AUTOCONSUMO	SEGURIDAD	FELICIDAD
Valor P	0.816	0.517	0.718	0.348	0.949	0.276	0.695	0.331
C. Pearson	-0.091	0.154	0.141	-0.356	0.025	0.408	0.153	0.367

Discusión

Los proyectos de tecnología social constituyen una muestra significativa de los proyectos sociales realizados en la ciudad. Sin embargo, no existen bases de datos universales o fuentes de consultas extensas que recopilen la totalidad de proyectos sociales en Ciudad Juárez. Los análisis de correlación realizados sugieren que los proyectos mencionados no se reflejan en la percepción ciudadana, a pesar de sus beneficios sociales y ambientales. Se encontró una correlación moderada positiva, con un valor p elevado, lo que sugiere que otros factores podrían estar influyendo en la percepción del bienestar.

El informe “Así estamos Juárez” no analiza variables como la memoria o el reconocimiento, sin embargo, sí incluye temas e información que también influyen en la percepción y en el sentimiento de satisfacción de las necesidades ciudadanas, como la cantidad de hospitales y escuelas por distrito, la igualdad de género y la inversión en infraestructura.

La tecnología social, por definición, busca resolver problemas técnicos en contextos de menor atractivo económico, ofreciendo soluciones tecnológicas con un alcance social mayor que el de la industria convencional. Sin embargo, al carecer de fuentes de consulta o registro con objetivos de difusión para los proyectos sociales, las innovaciones tecnológicas compiten con otros factores para percibirse como medios atractivos de mejora de la calidad de vida. Esto limita los beneficios del reconocimiento público y el apoyo comunitario necesarios para respaldar los proyectos, incentivar el apoyo gubernamental y explorar tecnológicas que puedan ser socialmente reinvertidas en mejoras del estado del bienestar.

Los proyectos públicos y la tecnología industrial, a diferencia de la tecnología social, no siempre se traducen

en beneficios sociales directos, equitativos y universales. Ejemplo de ello es el fuerte gasto público en tecnología, monopolizado por los parques industriales de la ciudad, económicamente favorables, ajenos a la sustentabilidad en áreas ambientales y sociales.

En la literatura hay críticas a las formas convencionales de producción tecnológica. La investigación no da una mejor o más eficiente respuesta a si es erróneo o correcto el modelo de producción industrial, pero la no correlación entre la percepción de estado del bienestar y los proyectos de tecnología social ilustra algunas de las razones por las cuales son pocas las facilidades e incentivos para producir tecnología social, pese a los beneficios sociales, ambientales y económicos de su ejercicio.

IV. CONCLUSIONES

Tanto el valor p como el coeficiente de correlación de Pearson son estadísticos comúnmente utilizados para determinar la fuerza de las correlaciones, que pueden ser débiles, moderadas o fuertes. Un valor p favorable se considera generalmente cercano a 0.05, lo que indica una baja probabilidad de que los resultados observados se deban al azar. Por otro lado, un coeficiente de correlación de Pearson bajo o cercano a 0.05 representaría una correlación débil o inexistente; un coeficiente cercano a 0.40 sería considerado moderado, mientras que un valor superior a 0.80 indicaría una correlación alta y positiva. Por supuesto, estos umbrales son interpretativos, no absolutos.

Como se visualiza en el último análisis de correlación (Tabla 10), el coeficiente de Pearson para el área de agricultura y autoconsumo es de 0.408 y para la felicidad es de 0.367. Pese a que estos valores indican una correlación positiva moderada, en relación con la cantidad de proyectos de tecnología social, las otras áreas de intervención presentan coeficientes de Pearson bajos o negativos, evidenciando correlaciones bajas o nulas entre la percepción y las variables comparadas, junto con valores p elevados que superan el umbral de 0.05 recomendado. Esto sugiere una alta probabilidad de que la escasa correlación observada entre las variables se deba al azar.

La correlación entre la felicidad y la cantidad total de proyectos es una de las más altas y cercanas a la correlación moderada. Este resultado es coherente al considerar que el último análisis recopila proyectos sociales

tecnológicos de múltiples áreas y refleja una percepción generalizada del estado de bienestar autopercebido por la ciudadanía de Ciudad Juárez.

La correlación entre felicidad y proyectos de tecnología social, pese a que estos son alentadores en comparación con el resto de las variables correlacionadas en la investigación, no resulta objetivamente fiable y, por tanto, no respalda la idea de una correlación directa y fuerte entre la cantidad de proyectos de tecnología social y sus respectivos beneficios, con la percepción y satisfacción de la comunidad, sino que demuestra que hay un amplio espacio para que factores ajenos a los proyectos sociales influyan en la percepción común de la calidad de vida y la vivencia urbana positiva.

En suma, la evidencia empírica aportada por el presente estudio exhibe una relación débil, pero no nula, entre la percepción del estado de bienestar y los proyectos de tecnología social.

A pesar de lo contraintuitivo que pueda parecer, la percepción de calidad de vida y la implementación de proyectos tecnológicos con el fin de mejorarla no están fuertemente correlacionadas de manera confiable. Por tanto, la percepción de bienestar está influenciada por una mayor cantidad de variables y una relación más moderada.

Y, por último, la muestra de proyectos de tecnología social aquí presentada proporciona información relevante sobre cómo se priorizan los distritos urbanos en los proyectos de implantación tecnológica y el papel que juegan las OSC en el desarrollo social, económico y tecnológico de Ciudad Juárez, en un contexto más amplio que el abarcado por un modelo tecnológico industrial.

REFERENCIAS

- [1] V. Fenoglio, "Tecnología Social: Recuperando Saberes, Co-construyendo Conocimientos", *Astrolabio*, 2012, doi: [10.55441/1668.7515.n8.839](https://doi.org/10.55441/1668.7515.n8.839).
- [2] É. Jaillier-Castrillón, L. F. Ramírez, C. A. Sampedro, C. A. Arboleda, "Innovación social: evolución del concepto en el tiempo", *RVG*, vol. 25, n.º 92, 2020.
- [3] C. Farge, "El Estado de bienestar", *Enfoques*, vol. XIX, n.º 1-2, 2007, pp. 45-54, 2007.

- [4] Centro de Estudios Regionales y Comunicación Alternativa (CERCA), "Impactos de la Maquila en el Medio Ambiente de Ciudad Juárez", *Nósis*, vol. 18, n.º 36, pp. 52-77, 2019.
- [5] Desarrollo Económico de Ciudad Juárez, "Documento Interinstitucional Juárez 2024 - Tercer Trimestre". desarrolloeconomico.org. <https://www.desarrolloeconomico.org/publicaciones> (accedido: jul. 1, 2025).
- [6] M. García y L. Rice, *Guía de Diseño y Evaluación de Proyectos Sociales*. Gobierno de Chile, 2021.
- [7] A. Smith, "Innovación social, democracia y makerspaces", *Revista Española del Tercer Sector*, n.º 36, 2017, pp. 49-74.
- [8] Plan Estratégico de Juárez, A. C., "Informe de Economía en Juárez 2020", planjuarez.org. <https://planjuarez.org/documentos/informe-de-economia-en-juarez-2020/> (accedido: jul. 1, 2025).
- [9] J. Santabábara, "Cálculo del tamaño de muestra necesario para estimar el coeficiente de correlación de Pearson mediante sintaxis en SPSS", *REIRE*, vol. 14, n.º 1, 2021, pp. 1-7, doi: [10.1344/reire2021.14.132565](https://doi.org/10.1344/reire2021.14.132565).
- [10] IIE Chihuahua, "Cartografía Electoral del Estado de Chihuahua. Distritación 2023". IIEchihuahua.org. <https://ieechihuahua.org.mx/cartografia> (accedido: jul. 1, 2025).
- [11] FECHAC, "Informes de Proyectos aprobados", FECHAC.org.mx. <https://fechac.org.mx/proyectos-aprobados> (accedido: jul. 1, 2025).
- [12] Fundación Paso del Norte. "Informe Anual 2020". fundacionpdn.org. <https://fundacionpdn.org/informe2020/> (accedido: jul. 1, 2025).
- [13] Fundación Comunitaria Paso del Norte, "Líneas de Acción", FCFN.org. <https://fcfn.org/lineas-de-accion/> (accedido: jul. 1, 2025).
- [14] Fundación Comunitaria Paso del Norte, "Líneas de acción", 2025. <https://fcfn.org/lineas-de-accion/> (accedido: ag. 1, 2025).
- [15] Redacción AN/GH, "Tendrá Ciudad Juárez Centro de Fusión de Inteligencia para atender violencia", *Aristegui Noticias*, en. 10, 2020. [En línea]. Disponible: <https://aristeguinoticias.com/1001/mexico/tendra-ciudad-juarez-centro-de-fusion-de-inteligencia-para-atender-violencia/>
- [16] Gobierno de Chihuahua, "Inaugura Gobernador Centro de Emergencias y Respuesta Inmediata 911 en Juárez", chihuahua.gob.mx. <https://chihuahua.gob.mx/contenidos/inaugura-gobernador-centro-de-emergencias-y-respuesta-inmediata-911-en-juarez> (accedido: jul. 1, 2025).
- [17] Instituto del Agua, "Planta Tratadora de Aguas Residuales CD Juarez: Innovación y Sostenibilidad en el Manejo de Aguas Residuales", institutodelagua.es. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/planta-tratadora-de-aguas-residuales-cd-juarezaguas-residuales/> (accedido: jul. 1, 2025).
- [18] Gobierno de México, "Jóvenes Construyendo el Futuro Recibirán Capacitación en Habilidades Tecnológicas", gob.mx. <https://www.gob.mx/stps/prensa/jovenes-construyendo-el-futuro-recibiran-capacitacion-en-habilidades-tecnologicas?idiom=es> (accedido: jul. 1, 2025).
- [19] "Chihuahua Fortalece su Estrategia de Telemedicina en Ciudad Juárez", *Salud Digital*, 2024. Disponible: <https://saluddigital.com/noticias/chihuahua-fortalece-su-estrategia-de-telemedicina-en-ciudad-juarez/> (accedido: jul. 1, 2025).
- [20] Gobierno de Chihuahua, "Abren cursos gratuitos de robótica vía Zoom para niñas y niños del norte del estado", chihuahua.gob.mx. <https://www.chihuahua.gob.mx/contenidos/abren-cursos-gratuitos-de-robotica-zoom-para-ninas-y-ninos-del-norte-del-estado> (accedido: jul. 1, 2025).
- [21] A. Guerra, "Inicia Programa de Huertos Urbanos", *El Heraldo de Juárez*, jun. 2020. [En línea]. Disponible: <https://oem.com.mx/elheraldodejuarez/local/inicia-programa-de-huertos-urbanos-noticias-ciudad-juarez-18868860>
- [22] Plan Estratégico de Juárez, A.C. "Transparencia Institucional", PlanJuárez.org. <https://planjuarez.org/transparencia-institucional/> (accedido: jul. 1, 2025).
- [23] Gobierno de México, "Avanza el uso de la Telesalud o Telemedicina en México", gob.mx. <https://www.gob.mx/salud/prensa/avanza-el-uso-de-la-telesalud-o-telemedicina-en-mexico> (accedido: jul. 1, 2025).

- [24] Gobierno de México, “Programa Nacional de Telementoría en Salud Mental y Adicciones 2022”, gob.mx. <https://www.gob.mx/salud/documentos/programa-nacional-de-telementoria-en-salud-mental-y-adicciones-281314> (accedido: jul. 1, 2025).
- [25] “Microsoft lanza programa de capacitación digital para pymes en México”, *Forbes México*, dic. 10, 2020. [En línea]. Disponible: <https://forbes.com.mx/negocios-microsoft-programa-capacitacion-digital-pymes-mexico/>
- [26] J. Olmos, “Alistan agua para ‘Los Kilómetros’”, *El Diario*, jul. 5, 2023. [En línea]. Disponible: <https://diario.mx/juarez/2023/jul/05/alistan-agua-para-los-kilometros-954846.html>
- [27] Redacción ADN / Agencias, “Inicia programa ‘Internet para todos’ en Juárez”, *ADN*, oct. 8, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.adiario.mx/estado/inicia-programa-internet-para-todos-en-juarez/>
- [28] L. C. Sosa, “Se incorpora el Tec a prevención de adicciones”, *El Diario*, nov. 30, 2019. <https://diario.mx/juarez/2019/nov/30/se-incorpora-el-tec-a-prevencion-de-adicciones-511133.html> (accedido: ag. 1, 2025).
- [29] H. Tovar, “Torre centinela: el ambicioso proyecto de seguridad de gobierno estatal”, *El Herald de Juárez*, abr. 20, 2022. [En línea]. Disponible: <https://oem.com.mx/elheraldodejuarez/local/torre-centinela-el-ambicioso-proyecto-de-seguridad-del-gobierno-del-estado-19004148>

RECONOCIMIENTOS

Se agradece sincera y notablemente al Doctor Iván Juan Carlos Pérez Olguín por su apoyo y revisión al presente artículo. Su instrucción ha sido fundamental para realizar esta investigación.

Aprovechamiento de residuos orgánicos en cafeterías industriales de Ciudad Juárez a través de un biodigestor

Utilization of Organic Waste in Industrial Cafeterias in Ciudad Juárez Through a Biodigester

Carmen Guadalupe Argüelles Argüelles¹ , Luis Escalante Bencomo¹, Mariela Álvarez Argüelles¹ ,
Iván Juan Carlos Pérez Olguín¹ ,

¹Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

En el ámbito global, se generan entre 7000 y 10 000 millones de toneladas de desechos anualmente, de los cuales aproximadamente el 60 % son orgánicos y provienen de actividades empresariales. Esta situación aumenta la huella ecológica, haciendo necesario desarrollar métodos sostenibles para su reciclaje, en línea con la economía circular, que promueve la reducción, reutilización y reciclaje de materiales. En respuesta, se propone descomponer y aprovechar los residuos orgánicos generados en las cafeterías de empresas manufactureras en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, mediante un biodigestor aeróbico. La metodología consta de siete etapas, desde la identificación de desechos hasta el empaque de la composta para su uso agrícola. Este enfoque no solo reduce residuos, sino que transforma la gestión de desechos en una oportunidad económica, generando composta de alta calidad para mejorar la productividad agrícola. Los resultados muestran una reducción del 70 % en los residuos orgánicos generados en las cafeterías de las empresas participantes, evidenciando la eficacia del sistema propuesto. Este proyecto minimiza el impacto ambiental y promueve la sostenibilidad económica y social al cerrar el ciclo de recursos en la comunidad.

PALABRAS CLAVE: biodigestor; composta; economía circular; método aeróbico; residuos orgánicos.

ABSTRACT

Globally, between 7,000 and 10,000 million tons of waste are generated annually, of which approximately 60% are organic and come from business activities. This situation increases the ecological footprint, making it necessary to develop sustainable methods for recycling, in line with the circular economy, which promotes the reduction, reuse and recycling of materials. In response, it is proposed to decompose and utilize the organic waste generated in the cafeterias of manufacturing companies in Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico, through an aerobic biodigester. The methodology consists of seven stages, from waste identification to compost packaging for agricultural use. This approach not only reduces waste, but transforms waste management into an economic opportunity, generating high-quality compost to improve agricultural productivity. The results show a 70% reduction in organic waste generated in the cafeterias of participating companies, demonstrating the effectiveness of the proposed system. This project minimizes environmental impact and promotes economic and social sustainability by closing the resource cycle in the community.

KEYWORDS: aerobic method; biodigester; circular economy; compost; organic waste.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Carmen Guadalupe Argüelles Argüelles
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Ave. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: carmen.arguelles@uacj.mx

Fecha de recepción: 6 de junio de 2025. **Fecha de aceptación:** 10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2025.



I. INTRODUCCIÓN

El manejo de residuos orgánicos se ha convertido en un tema de interés en el ámbito ambiental, económico, social y tecnológico, especialmente en contextos industriales [1], [2]. En el ámbito global, la generación de desechos orgánicos representa una parte importante del total de residuos producidos, muchos de los cuales provienen de actividades empresariales, como las cafeterías en empresas manufactureras [3].

En la medida que la conciencia sobre el impacto ambiental de los residuos crece, se hace evidente la necesidad de adoptar enfoques innovadores y sostenibles para su gestión [1], [4]. El estado del arte en la gestión de residuos orgánicos destaca la creciente adopción de la economía circular como un marco teórico fundamental [1], [5]-[7].

Este modelo propone un sistema en el que los residuos se convierten en recursos valiosos, fomentando la reducción, la reutilización y el reciclaje. A pesar de la cantidad de estudios que respaldan estos principios, la literatura también señala una falta de implementación práctica en sectores específicos, particularmente en el ámbito de los servicios alimentarios industriales [8].

Muchos enfoques actuales se centran en soluciones generales, sin abordar de manera efectiva la singularidad de los residuos generados en diferentes contextos, como el de las cafeterías de empresas manufactureras [1]. La problemática en cuestión se manifiesta en la ineficiencia de la gestión de estos desechos, que no solo contribuyen a la acumulación de basura, sino que también generan costos económicos y ambientales [2], [9].

Un análisis crítico de la bibliografía revela que, si bien se han desarrollado tecnologías y métodos para el tratamiento de residuos, aún hay una escasez de estudios que exploren soluciones específicas y viables en el entorno de las cafeterías corporativas [10], [11]. Esto plantea una oportunidad de investigación.

Este artículo tiene como objetivo general proponer un modelo de descomposición y aprovechamiento de residuos orgánicos generados en el área de cafetería de empresas manufactureras en Ciudad Juárez, a través de la implementación de un biodigestor con un método aeróbico. Este enfoque no solo puede orientarse a la mitigación del impacto ambiental asociado a la gestión de

residuos, sino también a transformar el proceso en una oportunidad económica, generando abono orgánico de alta calidad para su uso agrícola [11]-[13].

Este trabajo es importante debido a su potencial para aportar soluciones prácticas y sostenibles en un contexto empresarial específico. Al integrar la teoría de la economía circular con un enfoque aplicado, esta investigación busca contribuir a una gestión más efectiva de los residuos orgánicos, promoviendo no solo la sostenibilidad ambiental, sino también el desarrollo económico en la comunidad.

A. MARCO CONTEXTUAL

La generación de residuos se ha convertido en un desafío global que impacta tanto al medio ambiente como a la salud pública [14], [15]. A medida que la sociedad avanza y el consumo se intensifica, la cantidad de desechos que se producen se ha disparado, llevando a una crisis de gestión de residuos [14].

Entre los distintos tipos de desechos, los residuos orgánicos destacan por su volumen y su potencial de aprovechamiento [16], [17]. En particular, las cafeterías industriales, que operan a gran escala y generan grandes cantidades de alimentos y bebidas, son responsables de una porción significativa de estos residuos orgánicos [18].

Los residuos orgánicos, que incluyen restos de comida, representan una gran oportunidad para implementar prácticas más sostenibles [19], [20]. La forma en que se gestionan estos desechos puede tener un impacto profundo en la sostenibilidad de las operaciones y en el medio ambiente en general [21].

La correcta separación y tratamiento de estos residuos no solo reduce la cantidad que termina en vertederos, sino que también permite convertirlos en recursos valiosos [22], [23]. En este sentido, la economía circular se vuelve pieza clave; en lugar de seguir un modelo lineal de “tomar, hacer y desechar”, la economía circular propone un enfoque en el que los recursos se reutilizan y reciclan [24]-[26].

En el contexto de las cafeterías industriales, esto significa transformar los residuos orgánicos en productos que puedan volver a ser utilizados, cerrando el ciclo de producción y consumo [26]. Al adoptar este modelo, no

solo se minimizan los desechos, sino que se promueve un uso más eficiente de los recursos disponibles [24], [25].

Una de las soluciones más efectivas para la gestión de residuos orgánicos en este contexto es la implementación de biodigestores aeróbicos [11], [21]. Estos sistemas se encargan de descomponer los residuos orgánicos a través de procesos biológicos, generando biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía, y composta, que es un fertilizante natural rico en nutrientes [27]. De esta manera, las cafeterías industriales pueden no solo reducir su huella de carbono, sino también generar energía renovable y contribuir a la salud del suelo [27], [28].

La producción de composta a partir de residuos orgánicos no solo ayuda a mitigar el problema de los desechos, sino que también ofrece beneficios característicos para el ambiente [11]. Al utilizar la composta en jardines, espacios verdes y cultivos agrícolas, se mejora la calidad del suelo, se retiene la humedad y se reduce la necesidad de fertilizantes químicos, lo que promueve un ciclo más saludable y sostenible en la producción de alimentos [28].

Por lo tanto, la generación de residuos es un reto que requiere atención urgente, especialmente en sectores como el de las cafeterías industriales, donde los residuos orgánicos son abundantes. Al adoptar prácticas sostenibles y modelos de economía circular, estas industrias pueden transformar su impacto ambiental.

La implementación de biodigestores aeróbicos y la producción de composta son pasos clave en este proceso, permitiendo que los residuos se conviertan en recursos y cerrando el ciclo de producción de manera efectiva [29], [30]. De esta forma, no solo se aborda el problema de los desechos, sino que se contribuye a un futuro más sostenible y respetuoso con el entorno.

B. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

En el área de las cafeterías dentro de empresas manufactureras se observa una notable acumulación de residuos orgánicos generados por los trabajadores. Al concluir sus comidas, los empleados depositan los desperdicios en contenedores destinados a la separación de desechos. Posteriormente, la empresa se encarga de gestionar estos residuos, enviándolos a diversos proveedores

encargados de su recolección, quienes deben transportarlos al relleno sanitario.

Este proceso no solo impacta en la generación de residuos sólidos, sino que también afecta negativamente el métrico interno de la empresa, incrementando los costos asociados a la disposición de desechos por tambos y ocasionando un impacto ambiental. La gestión ineficiente de estos residuos representa un desafío que requiere atención para optimizar tanto la sostenibilidad operativa como la responsabilidad ambiental de la organización.

Por esta razón, es importante desarrollar investigación encaminada a descomponer y aprovechar los residuos orgánicos generados en las cafeterías industriales mediante sistemas como lo es un biodigestor aeróbico, con el que se esperan reducciones en un 70 % de los residuos producidos, para convertirlos en composta que sirva en los campos agrícolas.

Esta aplicación presenta múltiples beneficios, como lo es la disminución de la cantidad de residuos orgánicos que se envían a los rellenos sanitarios. Al convertir estos desechos en composta y al reducir la cantidad de residuos en vertederos, se disminuyen las emisiones de metano y otros gases nocivos asociados a la descomposición anaeróbica.

Por otra parte, al reducir la cantidad de residuos que se envían a vertederos, las empresas pueden disminuir los costos asociados a la recolección y disposición de desechos. Transformar los residuos orgánicos en productos útiles como composta permite a las empresas crear nuevos flujos de ingresos.

Asimismo, la investigación en biodigestores aeróbicos puede llevar al desarrollo de tecnologías y metodologías más eficientes para la gestión de residuos orgánicos, potenciando la competitividad de la empresa, y puede abrir oportunidades para la capacitación y el desarrollo de habilidades en el personal, promoviendo un entorno de aprendizaje continuo.

II. METODOLOGÍA

En esta sección se muestran los materiales y la metodología implementada para la descomposición y aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en las cafeterías de diez empresas manufactureras en Ciudad Juárez mediante un biodigestor aeróbico.

A. MATERIALES

Los materiales requeridos para este proyecto son un biodigestor aeróbico, residuos orgánicos, actinomicetos, agua, palas/espátulas y tubería de desagüe.

B. MÉTODO

Esta investigación se realizó respaldada por una metodología que consta de siete etapas mostradas en la [Figura 1](#) y descritas enseguida.

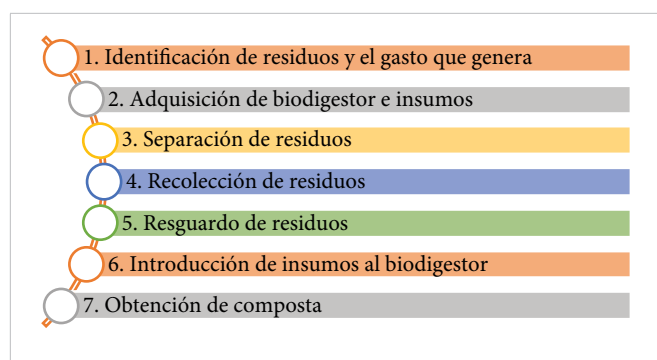


Figura 1. Diagrama de la metodología propuesta.

Se llevó a cabo una encuesta en diez empresas manufactureras de Ciudad Juárez, Chihuahua. Durante las visitas, se entrevistó a los ingenieros ambientales de cada planta, los cuales mostraron las áreas destinadas a los residuos orgánicos, así como el flujo de desechos provenientes de las cafeterías. Además, se recopiló información sobre la cantidad total de residuos orgánicos generados diariamente en cada empresa, al igual que el gasto generado en el proceso.

2. ADQUISICIÓN DE BIODIGESTOR E INSUMOS

Se buscó en Ciudad Juárez la colaboración con una empresa que cuente con biodigestor para realizar las pruebas correspondientes. Asimismo, se adquirieron actinomicetos, que son un grupo de bacterias grampositivas, que se caracterizan por su capacidad para descomponer materia orgánica.

3. SEPARACIÓN DE RESIDUOS

En las empresas manufactureras, se designó un área específica para la disposición de los residuos orgánicos generados en la cafetería. Para facilitar este proceso, se instruyó a los trabajadores a separar los desechos antes de su disposición, mediante capacitaciones impartidas

por el área de EHS (siglas en inglés de Salud, Seguridad y Medio Ambiente). Una vez que el personal terminaba sus alimentos, se dirigía al área de lavado de la cafetería, donde retiraba plásticos y huesos de los desechos. Después, colocaba su charola en el espacio correspondiente para que el personal de cocina realizara la separación final de los residuos en los tambos asignados.

4. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

Se llevó a cabo la recolección de los residuos orgánicos previamente separados por el personal. Previamente, se estableció un cronograma para la recolección de residuos, asegurando que se realizara en intervalos adecuados para evitar la acumulación y el deterioro de los materiales; se utilizó contenedores adecuados y etiquetados para la recolección, garantizando que los residuos orgánicos fueran transportados de manera segura y eficiente; se verificó que los residuos estuvieran correctamente separados y almacenados en los contenedores designados y, una vez recolectados, los residuos orgánicos se transportaron al biodigestor correspondiente.

5. RESGUARDO DE RESIDUOS

Los residuos se colocaron en tambos de 200 litros para trasladarlos a un área asignada con refrigeración con el fin de que este material no sufriera descomposición por el calor. Se resguardaron diariamente durante una semana para seguir su proceso de transformación a composta.

6. INTRODUCCIÓN DE INSUMOS AL BIODIGESTOR

El biodigestor cuenta con un proceso controlado por medio de instrucción de trabajo y manuales para el operador. En la actividad únicamente se colocaron 10 kg de residuos orgánicos, ya con la separación de desechos que no son procesados, como huesos, pellejos y plástico. A la vez, se introdujeron 2 litros de agua para que el proceso de digestión en el biodigestor se llevara a cabo de manera efectiva y la composta saliera con la consistencia adecuada.

7. OBTENCIÓN DE COMPOSTA

Terminado el proceso de digestión, el dispositivo de seguridad interno del biodigestor corta el suministro de energía y, posteriormente, se mueve el residuo obtenido por medio de una tubería de 6 pulgadas de diámetro. Para esto, el trabajador colocó esos residuos dentro de

moldes con el fin de iniciar con el secado a temperatura ambiente y empackar la composta.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS Y EL GASTO QUE GENERA

En la [Tabla 1](#) se muestran los resultados de las cantidades de residuos que generan (en kilogramos) las

diez empresas evaluadas, de manera diaria y mensual, así como el costo anual (en pesos mexicanos) por disposición de estos residuos. Es importante mencionar que las empresas caso de estudio en esta investigación fueron elegidas por cercanía y disponibilidad de acceso. Asimismo, como dato, las empresas encargadas de la disposición cuentan con certificación por parte de SEMARNAT y deben generar un manifiesto donde indique la final disposición de los desechos generados.

TABLA 1
CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS Y EL GASTO GENERADO

EMPRESA	KG DIARIO	KG MENSUAL	TAMBORES PARA DISPOSICIÓN	COSTO POR DISPOSICIÓN (MXN)	
				MENSUAL	ANUAL
1	54	1620	8.1	6885	82 620
2	28	840	4.2	3570	42 840
3	22	660	3.3	2805	33 660
4	19	570	2.85	2422.5	29 070
5	30	900	4.5	3825	45 900
6	12	360	1.8	1530	18 360
7	16	480	2.4	2040	24 480
8	20	600	3	2550	30 600
9	26	780	3.9	3315	39 780
10	21	630	3.15	2677.5	32 130
Total	248	7440	37.2	31 620	379 440

Adicional al alcance de esta investigación, se recomendó a las empresas que, después de la separación, los residuos inorgánicos fueran enviados a centros de reciclaje para su adecuado tratamiento y reutilización.

El área de cafetería es responsable del control y supervisión del proceso de separación de residuos, asegurando que se cumplan las pautas establecidas. Un ejemplo de esto se observa en la [Figura 2](#).

Además, el departamento de EHS de las empresa realiza capacitaciones periódicas para todos los trabajadores, enfocándose en la importancia de la gestión adecuada de los residuos y en las técnicas de separación. Estas actividades han permitido sensibilizar al personal sobre la relevancia de cada tipo de residuo y han mejorado la efectividad del proceso de separación. En la [Figura 3](#) se muestra un ejemplo de cómo se presenta esta separación.



Figura 2. Separación de residuos orgánicos e inorgánicos por el área de cafetería.



Figura 3. Recipientes utilizados para la separación de los residuos en una de las empresas manufactureras de Ciudad Juárez.

Muchas empresas están adoptando prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente, lo que incluye la capacitación en la gestión de residuos. Entre los temas abordados están los procedimientos para el manejo y disposición adecuada de los residuos orgánicos, como el uso de compostaje o biodigestor, y se ofrecen incentivos para fomentar la participación de los empleados en estas prácticas.

4. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

Una vez finalizado el proceso de separación, los residuos orgánicos fueron recolectados en contenedores específicos y etiquetados adecuadamente para facilitar su identificación. El transporte de los residuos se realizó en vehículos preparados para mantener la integridad y frescura de los materiales, garantizando que lleguen en condiciones óptimas al biodigestor.

En el establecimiento, los residuos son recibidos y almacenados temporalmente en el cuarto frío, lo que minimiza el riesgo de descomposición y malos olores. Esto logró no solo mantener la calidad de los residuos orgánicos, sino también contribuir a la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica en el biodigestor.

5. RESGUARDO DE RESIDUOS

Los tambos de 200 litros en los que se almacenaron los residuos orgánicos, se resguardaron durante una semana en el cuarto frío, como se muestra en la [Figura 4](#).



Figura 4. Cuarto frío donde se guardaron los residuos orgánicos generados.

Esta etapa permitió mantener los residuos en condiciones para la obtención de composta. Se resguardó un aproximado de 1500 kg, suma de lo generado por una semana de las diez empresas consideradas.

6. INTRODUCCIÓN DE INSUMOS AL BIODIGESTOR

En esta etapa se inició el proceso de introducción de los residuos orgánicos al biodigestor para la descomposición aeróbica, el agua y los actinomicetos. La [Figura 5](#) muestra un ejemplo del proceso.



Figura 5. Ejemplo de la introducción de insumos al biodigestor aeróbico para la obtención de composta.

En este proceso se obtuvo composta por partes, al colocar 10 kg de residuos orgánicos en cada corrida del proceso.

7. OBTENCIÓN DE COMPOSTA

En la [Figura 6](#) se puede observar ejemplo de la composta obtenida.



Figura 6. Ejemplo de composta obtenida.

La composta obtenida, considerando los 1500 kg de residuos orgánicos procesados, fue de 500 kg, los cuales fueron solicitados por el dueño del biodigestor, quien cuenta con cultivos.

Cabe mencionar que en México predominan los sistemas anaeróbicos debido a su mayor eficiencia en la producción de biogás y la reducción de patógenos. Sin embargo, la adopción de tecnologías aeróbicas para compostaje está en aumento, especialmente en proyectos comunitarios y agrícolas que buscan mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. En este sentido, la Secretaría del Medio Ambiente [31] ha promovido el uso de estos biodigestores en zonas rurales de la Ciudad de México.

Estos sistemas benefician a aproximadamente 150 personas y 25 hogares, tratando más de 175 toneladas de desechos orgánicos al año. Además, se ha evitado la emisión de 123 toneladas de CO₂ equivalente a la atmósfera, sustituyendo el uso de leña por biogás y produciendo abono orgánico para fertilizar hasta 127 hectáreas de sembradíos [31].

IV. CONCLUSIONES

El presente estudio sobre el aprovechamiento de residuos orgánicos en cafeterías industriales de Ciudad Juárez a través de un biodigestor aeróbico ha demostrado que esta metodología no solo es viable, sino también altamente beneficiosa tanto para el medio ambiente como para la economía local.

En primer lugar, se evidenció que la implementación de biodigestores aeróbicos puede transformar de manera efectiva los residuos orgánicos generados en las cafeterías en un recurso valioso: la composta. Este proceso no solo reduce la cantidad de desechos que terminan en los vertederos, sino que también contribuye a la mejora de la calidad del suelo, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles en la región.

Además, los resultados obtenidos subrayan la importancia de la sensibilización y formación del personal en el manejo de estos sistemas, lo que puede incrementar la eficiencia del proceso y fomentar una cultura de sostenibilidad dentro de las empresas.

Las cafeterías industriales, al adoptar este modelo, pueden no solo cumplir con normativas ambientales, sino también mejorar su imagen corporativa y atraer a un consumidor cada vez más consciente.

Finalmente, se recomienda la implementación de políticas públicas que incentiven la utilización de biodigestores en la industria alimentaria, así como la promoción de iniciativas de cooperación entre el sector privado y las autoridades locales para facilitar el desarrollo de proyectos de economía circular. La adopción de estas prácticas podría resultar en un impacto positivo en la gestión de residuos y en el bienestar ambiental de Ciudad Juárez.

REFERENCIAS

- [1] S. Kharola *et al.*, “Exploring the green waste management problem in food supply chains: A circular economy context”, *J. Clean. Prod.*, vol. 351, n.º 7, p. 131355, 2022, doi: [10.1016/j.jclepro.2022.131355](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131355).
- [2] H. Hettiarachchi, J. N. Meegoda y S. Ryu, “Organic waste buyback as a viable method to enhance sustainable municipal solid waste management in developing countries”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, n.º 11, pp. 1-15, 2018, doi: [10.3390/ijerph15112483](https://doi.org/10.3390/ijerph15112483).
- [3] R. Khan, F. Anwar, F. M. Ghazali y N. A. Mahyudin, “Valorization of waste: Innovative techniques for extracting bioactive compounds from fruit and vegetable peels - A comprehensive review”, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 97, p. 103828, oct. 2024, doi: [10.1016/j.ifset.2024.103828](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103828).

- [4] L. Andeobu, S. Wibowo y S. Grandhi, "Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review", *Sci. Total Environ.*, vol. 834, p. 155389, ag. 15, 2022, doi: [10.1016/j.scitotenv.2022.155389](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155389).
- [5] R. Rajkumar y C. Kurinjimalar, "Food wastes/residues: Valuable source of energy in circular economy", en *Handbook of Biofuels*, S. Sahay, ed. Academic Press, 2022, cap. 7, pp. 147-163, doi: [10.1016/B978-0-12-822810-4.00007-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822810-4.00007-5).
- [6] A. Lahiri, S. Daniel, R. Kanthapazham, R. Vanaraj, A. Thambidurai y L. S. Peter, "A critical review on food waste management for the production of materials and biofuel", *J. Hazard. Mater. Adv.*, vol. 10, p. 100266, may. 2023, doi: [10.1016/j.hazadv.2023.100266](https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100266).
- [7] S. kordoghli, E. Fassatoui, M. Jeguirim, A. A. Zorpas y B. Khiari, "Experimental and feasibility study of bio-waste valorization through pyrolysis for energy and materials production in the concept of circular economy", *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 187, pp. 279-291, jul. 2024, doi: [10.1016/j.psep.2024.04.101](https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.101).
- [8] L. J. Guerra, "Residuos orgánicos y economía circular: una incursión hacia el cambio a un modelo de economía circular en el tratamiento de residuos en empresas cafeteras colombianas", trabajo fin de máster, Universitat Politècnica de València, sept. 18, 2024, [En línea]. Disponible: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/209962>.
- [9] G. Halkos y K. N. Petrou, "Efficient waste management practices : A review", *Munich Pers. Repec Arch.*, n.º 71518, pp. 1-36, 2016. [En línea]. Disponible: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/71518/>.
- [10] G. Tavill, "Industry challenges and approaches to food waste", *Physiol. Behav.*, vol. 223, p. 112993, sept. 2020, doi: [10.1016/j.physbeh.2020.112993](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.112993).
- [11] A. Macarena Carvalho y L. E. Casas Cirión, "Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural", *Cienc. Lat.*, vol. 6, n.º 4, pp. 990-1013, ag. 2022, doi: [10.37811/cl_rcm.v6i4.2641](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2641).
- [12] A. Z. Yaser et al., "Composting and Anaerobic Digestion of Food Waste and Sewage Sludge for Campus Sustainability: A Review", *Int. J. Chem. Eng.*, vol. 2022, pp. 1-14, jun. 2022, doi: [10.1155/2022/6455889](https://doi.org/10.1155/2022/6455889).
- [13] F. E. Ibarra-Esparza et al., "Implementation of anaerobic digestion for valorizing the organic fraction of municipal solid waste in developing countries: Technical insights from a systematic review", *J. Environ. Manage.*, vol. 347, p. 118993, 2023, doi: [10.1016/j.jenvman.2023.118993](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118993).
- [14] I. R. Abubakar et al., "Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, n.º 19, p. 12717, oct. 2022, doi: [10.3390/ijerph191912717](https://doi.org/10.3390/ijerph191912717).
- [15] P. G. C. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya y A. S. Ratnayake, "The world of plastic waste: A review", *Clean. Mater.*, vol. 11, p. 100220, mar. 2024, doi: [10.1016/j.clema.2024.100220](https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220).
- [16] A. Yépez y F. Viteri, "Enfoques innovadores de educación ambiental con el aprovechamiento de residuos orgánicos urbanos", *Cátedra*, vol. 2, n.º 2, pp. 111-132, may. 2019, doi: [10.29166/catedra.v2i2.1639](https://doi.org/10.29166/catedra.v2i2.1639).
- [17] S. M. Frolov, "Organic Waste Gasification: A Selective Review", *Fuels*, vol. 2, n.º 4, pp. 556-650, dic. 2021, doi: [10.3390/fuels2040033](https://doi.org/10.3390/fuels2040033).
- [18] A. Dhir, S. Talwar, P. Kaur y A. Malibari, "Food waste in hospitality and food services: A systematic literature review and framework development approach", *J. Clean. Prod.*, vol. 270, p. 122861, oct. 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.122861](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122861).
- [19] I. Esparza, N. Jiménez-Moreno, F. Bimbela, C. Ancín-Azpilicueta y L. M. Gandía, "Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches", *J. Environ. Manage.*, vol. 265, p. 110510, jul. 2020, doi: [10.1016/j.jenvman.2020.110510](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110510).
- [20] P. Magama, I. Chiyanzu y J. Mulopo, "A systematic review of sustainable fruit and vegetable waste recycling alternatives and possibilities for anaerobic biorefinery", *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 18, p. 101031, jun. 2022, doi: [10.1016/j.biteb.2022.101031](https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101031).
- [21] I. R. Chugchilan y W. P. Pazuña, "Estimación del potencial eléctrico de residuos orgánicos mediante el uso de biodigestores experimentales", *G-ner@ndo*, vol. 5, n.º 1, pp. 101-128, jun. 2024, doi: [10.60100/rcmg.v5i1.186](https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i1.186).
- [22] S.A. Carmín y C.W. Aquise, "Revisión Sistemática: Impactos Ambientales generados por Desperdicio de Alimentos",

Fac. de Ing. y Arq., Univ. César Vallejo, tesis de ingeniería, Lima, Perú. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82353?show=full>

- [23] S. Nanda y F. Berruti, “Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review”, *Environ. Chem. Lett.*, vol. 19, pp. 1433-1456, 2021, doi: [10.1007/s10311-020-01100-y](https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y).
- [24] M. Ellacuriaga, J. García-Cascallana y X. Gómez, “Biogas Production from Organic Wastes: Integrating Concepts of Circular Economy”, *Fuels*, vol. 2, n.º 2, pp. 144-167, abr. 2021, doi: [10.3390/fuels2020009](https://doi.org/10.3390/fuels2020009).
- [25] L. A. B. Paes, B. S. Bezerra, R. M. Deus, D. Jugend y R. A. G. Battistelle, “Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis”, *J. Clean. Prod.*, vol. 239, p. 118086, dic. 2019, doi: [10.1016/j.jclepro.2019.118086](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118086).
- [26] S. Wainaina et al., “Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies”, *Bioresour. Technol.*, vol. 301, p. 122778, abr. 2020, doi: [10.1016/j.biortech.2020.122778](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778).
- [27] T. Chen, S. Zhang y Z. Yuan, “Adoption of solid organic waste composting products: A critical review”, *J. Clean. Prod.*, vol. 272, p. 122712, nov. 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2020.122712](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122712).
- [28] M. Á. Aguilar, “Aprovechamiento de los desechos orgánicos en la elaboración de compost mediante la implementación de un sistema amigable con el ambiente”, trabajo de titulación como ingeniero ambiental, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador, 2020. [En línea]. Disponible: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AGUILAR CAMBA MIGUEL ANGEL.pdf>
- [29] V. M. De la Fuente, G. D. Sanchez, C. A. S. Villalobos, R. A. R. Montano y J. A. M. Sosa, “A Review: Biodigesters and their use for the generation of clean energy”, *2022 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV)*, Boca del Río. Veracruz, México, 2022, pp. 1-8, doi: [10.1109/ICEV56253.2022.9959169](https://doi.org/10.1109/ICEV56253.2022.9959169).
- [30] L. C. Ossa-Carrasquilla, M. A. Correa-Ochoa y L. M. Múnica-Porras, “La paca biodigestora como estrategia de tratamiento de residuos orgánicos”, *Prod. + Limpia*, vol. 15, n.º 2, pp. 71-91, 2021.
- [31] SEDEMA. “Para promover el uso de combustibles limpios y eficientes, instalará Sedema 25 biodigestores en Suelo de Conservación”, 2017. <https://sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/para-promover-el-uso-de-combustibles-limpios-y-eficientes-instalara-sedema-25-biodigestores-en-suelo-de-conservacion>

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce a las diez empresas manufactureras de Ciudad Juárez que apoyaron con acceso a sus instalaciones y obtención de datos y que, a petición expresa, se omiten sus nombres.

Asimismo, a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por sus facilidades y apoyo.

Inteligencia artificial para un diagnóstico accesible en la identificación del melanoma y otras lesiones

Artificial intelligence for accessible diagnosis in the identification of melanoma and other skin lesions

Verónica Angélica Villalobos Romo^{1a} , Soledad Vianey Torres Argüelles^{1a} , José David Díaz Román^{1b}  
^{1a}{Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura}, ^{1b}{Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación}, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

El objetivo de este proyecto de innovación social es generalizar el acceso a herramientas de diagnóstico precisas, promoviendo la implementación de sistemas de detección temprana en entornos clínicos con recursos limitados. Desarrollar sistemas de aprendizaje profundo para mejorar la precisión de la detección temprana del melanoma que se considera una de las formas más agresivas de cáncer de piel, enfatizados en la necesidad de un diagnóstico preciso para reducir la mortalidad. A través del aprendizaje profundo y el aprendizaje por transferencia, el sistema identifica lesiones cutáneas por medio de imágenes dermatoscópicas, apoyándose en Redes Neuronales Convolucionales (RNC) entrenadas para la extracción de características de imágenes. Este enfoque permite aprovechar el conocimiento preexistente en los modelos RNC para mejorar la eficiencia y precisión de la identificación del melanoma. Además, al reducir la necesidad de procedimientos médicos invasivos y optimizar el uso de recursos en sistemas de salud con infraestructura limitada, el proyecto contribuye a la sostenibilidad del cuidado de la salud, fomentando diagnósticos más accesibles y precisos. La metodología de desarrollo es esencial y se presenta en este trabajo, con la expectativa de que la mejora en las capacidades de detección del melanoma tenga un impacto positivo en la salud pública y en la sostenibilidad a largo plazo.

PALABRAS CLAVE: cáncer; melanoma; diagnóstico; aprendizaje profundo; redes neuronales convolucionales.

ABSTRACT

The objective of this social innovation project is to generalize access to accurate diagnostic tools by promoting the implementation of early detection systems in clinical settings with limited resources. The aim is to develop deep learning systems to improve the accuracy of early melanoma detection, which is considered one of the most aggressive forms of skin cancer, emphasizing the need for precise diagnosis to reduce mortality. Through deep learning and transfer learning, the system identifies skin lesions using dermatoscopic images, leveraging pre-trained convolutional neural networks (CNNs) for feature extraction. Transfer learning is used to adapt the specific task of classifying pigmented skin lesions. This approach enables the use of pre-existing knowledge in CNN models to enhance the efficiency and accuracy of melanoma identification. Furthermore, by reducing the need for invasive medical procedures and optimizing resource use in healthcare systems with limited infrastructure, the project contributes to the sustainability of healthcare, promoting more accessible and accurate diagnoses. The development methodology is crucial and is presented in this work, with the expectation that improvements in melanoma detection capabilities will have a positive impact on public health and long-term sustainability.

KEYWORDS: cancer; melanoma; diagnosis; Deep Learning; Convolutional Neural Networks.

Correspondencia:

DESTINATARIO: José David Díaz Román
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Ave. del Charro núm. 450 norte, col. Partido
Romero, C. P. 31310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: david.roman@uacj.mx

Fecha de recepción: 9 de junio de 2025. **Fecha de aceptación:**
10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de
2025.



I. INTRODUCCIÓN

El melanoma es el tipo más agresivo y letal de cáncer de piel. La radiación ultravioleta (UV) del sol puede causar graves efectos en la salud de la piel si se expone de manera excesiva sin protección, desde quemaduras solares hasta el aumento en el riesgo de desarrollar cáncer [1], [2]. El cáncer de piel, que involucra tipos como el carcinoma de células basales, el carcinoma de células escamosas y el melanoma, es una gran preocupación por la salud y los costos. A diferencia de otros males, este se propaga uniformemente en todo el mundo, principalmente debido a la radiación UV del sol [3].

El cáncer de piel es un problema creciente en México, que afecta a personas de todas las edades y tipos de piel, debido a la intensa luz solar en el país, la falta de conciencia sobre las medidas de protección y las limitaciones en la difusión de información sobre la importancia del cuidado de la piel. “Es un panorama amplio”, advierte el Dr. Rodrigo Roldán Marín, jefe de la Clínica de Oncología de la Facultad de Medicina de la UNAM, al explicar las diferencias de riesgo entre los diferentes tipos de cáncer y la importancia de la detección temprana. Solo de melanoma se reportan 2000 casos anuales, siendo responsable del 80 % de los decesos por cáncer de piel [4].

Las regiones con las tasas más altas de frecuencia y mortalidad por cáncer de piel en México incluyen Ciudad de México, Baja California Sur, Jalisco, Nuevo León y Colima. Tan solo tres de estos estados: Guerrero, Nuevo León y Zacatecas, presentan incrementos en la frecuencia de más del 250 %. Actualmente, el melanoma ocupa el tercer lugar en incidencia entre los tipos de cáncer en el México, con un incremento del 500 % en los casos reportados, según estadísticas del Instituto Nacional de Cancerología [4], [5].

El 23 de mayo se celebra el Día Mundial del Melanoma Cutáneo para concienciar al público sobre la importancia de esta enfermedad, su potencial de muerte, además de la necesidad de una detección temprana para su tratamiento [6].

A. FACTORES Y CAUSAS DEL CÁNCER DE PIEL

El cáncer de piel está fuertemente relacionado con varios factores de riesgo, uno de los cuales es la exposición al sol. Estar expuesto prolongada o intermitentemente a

los rayos UV se ha relacionado con un mayor índice de riesgo de este cáncer, especialmente entre las 10 a. m. y las 4 p. m. Las quemaduras solares durante la infancia son aun más dañinas, ya que incrementan de forma significativa la probabilidad de padecer cáncer de piel en la edad adulta. No tomar medidas preventivas, como el uso de protector solar o la ropa adecuada para el caso de las zonas expuestas al sol, aumenta el riesgo [7], [8].

Otro factor que juega un papel importante es el fenotipo. Las personas con piel clara, ojos claros y cabello rubio o pelirrojo corren un mayor riesgo porque tienen niveles más bajos de melanina, el pigmento que protege contra el daño de los rayos UV. Estos rasgos genéticos los hacen más susceptibles a la radiación de los rayos UV [8], [9].

Finalmente, los antecedentes familiares y ciertos factores del estilo de vida también contribuyen a un mayor riesgo de desarrollar cáncer de piel. El historial familiar de la enfermedad o la presencia de lunares displásicos (lunares anormales) son factores de advertencia importantes [10]. De manera similar, los cambios en el estilo de vida, como pasar más tiempo al aire libre, la tendencia a tomar el sol y el agotamiento de la capa de ozono, han aumentado la incidencia del cáncer de piel en las últimas décadas. Estos factores ambientales, combinados con una mayor exposición al sol, enfatizan la importancia de tomar precauciones para minimizar los riesgos [10].

B. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

El diagnóstico temprano es crucial para mejorar las tasas de supervivencia, y los métodos principales incluyen técnicas no invasivas, como la inspección visual, e invasivas, como la biopsia, que ayudan a diferenciar entre lesiones benignas y malignas [11]. Entre las técnicas de exploración visual utilizadas para el diagnóstico de melanoma se encuentra la regla ABCDE, evaluando las características de tamaño, color y forma [12], además del método de siete puntos que toma en consideración cambios en las lesiones pigmentadas [13], [14], [15]. La regla de Menzies, por otro lado, se basa en la evaluación de características dermatoscópicas, dividiéndolas en criterios positivos y negativos para facilitar el diagnóstico del melanoma [16].

En lesiones sospechosas, el método más seguro es la biopsia, que es un procedimiento médico invasivo que

se basa en la toma de una muestra de la lesión cutánea para ser examinada bajo el microscopio y determinar si es benigna o maligna [13], lo que requiere equipo especializado, anestesia local y personal capacitado. Este procedimiento es especialmente necesario cuando en una lesión pigmentada se observa un cambio de color, tamaño o forma, ya que estas modificaciones pueden ser indicativos de melanoma o de otro tipo de cáncer de piel. El análisis de una biopsia puede tardar días o incluso semanas, dependiendo de la carga de trabajo del laboratorio. Este método es indispensable para confirmar el diagnóstico y proporcionar el tratamiento adecuado [14], [15].

C. DIFICULTADES EN LOS MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

Las dificultades en el diagnóstico del cáncer de piel, especialmente el melanoma, se deben a varios factores complejos. Uno de los principales desafíos es la variabilidad clínica de las lesiones, que pueden parecerse a otros problemas dermatológicos benignos [9]. Otro factor que afecta la precisión del diagnóstico es el nivel de experiencia y formación del especialista, pues una menor destreza y habilidad para la interpretación precisa de las lesiones puede variar el diagnóstico [16], [17]. Esto complica su identificación temprana, que es crucial para el tratamiento exitoso. Las herramientas de diagnóstico, como la dermatoscopia, mejoran la capacidad para detectar melanomas en etapas tempranas, pero al mismo tiempo han generado preocupaciones debido al sobrediagnóstico y el tratamiento excesivo de tumores clínicamente insignificantes [18].

D. TIPOS DE LESIONES DE PIEL

Existen varias lesiones pigmentadas en la piel que pueden ser benignas, pero a veces son mal diagnosticadas o confundidas con lesiones malignas debido a sus características similares. A continuación, algunos ejemplos de estas lesiones benignas y su posible confusión con cáncer de piel:

- **Nevo melanocítico (lunar común):** son acumulaciones benignas de melanocitos (células productoras de pigmento). Aunque la mayoría son inofensivos, algunos nevos displásicos o atípicos pueden parecer sospechosos debido a su forma, color o tamaño irregular, lo que puede llevar a una biopsia para descartar melanoma. Sin embargo, la mayoría de estos nevos son benignos.

- **Queratosis seborreica:** son lesiones pigmentadas que comúnmente son confundidas con cáncer de piel, pero son crecimientos benignos que aparecen en la superficie de la piel. Tienen una textura rugosa o verrugosa y a menudo se diagnostican erróneamente como melanoma debido a su apariencia oscura e irregular.
- **Melanoma:** es la forma más peligrosa de cáncer de piel. Se produce de melanocitos (células productoras de pigmentos) de origen dérmico que se encuentran en diversas partes del cuerpo.
- **Dermatofibroma:** es un nódulo benigno de la piel que puede aparecer pigmentado. Su firmeza al tacto y su coloración marrón pueden hacer que se confunda con lesiones malignas, aunque suele ser inofensivo [13], [19], como se puede observar en la [Figura 1](#).

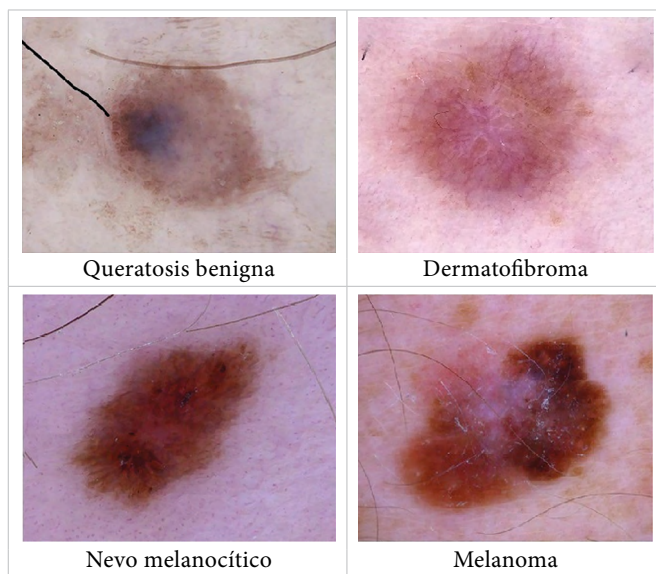


Figura 1. Lesiones pigmentadas de la piel (HAM10000) [20].

Es crucial que cualquier lesión pigmentada sospechosa sea evaluada por un dermatólogo, quien puede recomendar una biopsia para asegurar un diagnóstico preciso y descartar la presencia de cáncer de piel, como el melanoma [15].

II. METODOLOGÍA

En esta sección se expone el procedimiento seguido para el desarrollo de un sistema de diagnóstico de cáncer de piel mediante imágenes. Inicialmente, se seleccionó el repositorio después de hacer una revisión

bibliográfica para identificar una base de imágenes que contuviera casos clínicos apropiadamente diagnosticados y categorizados por personal profesional en la materia. Posteriormente, se balancearon los datos usando técnicas de aumento de datos para incrementar la representatividad de las clases.

Se utilizó la arquitectura de la red neuronal convolucional con ajuste fino para la extracción de características y dichas arquitecturas convolucionales se tomaron de las aplicaciones de Keras [21]. Con las redes se obtienen características representativas de las imágenes seleccionadas. Luego, se aplicó la técnica de reducción de características mediante análisis de componentes principales (PCA) [22] y, finalmente, un clasificador logístico predice cada imagen a la clase correspondiente. Cabe resaltar que los pasos anteriores se muestran resumidos en la [Figura 2](#).

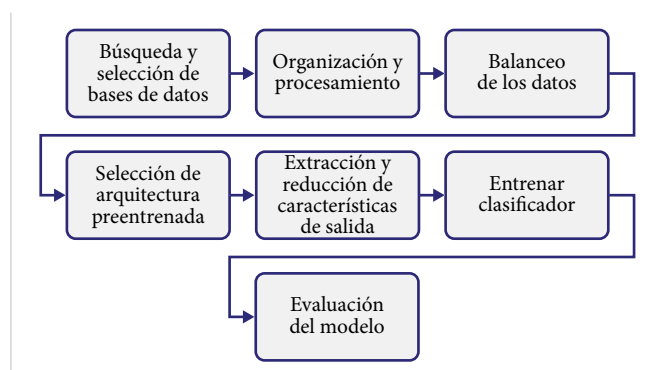


Figura 2. Etapas de la metodología.

A continuación se presenta un breve resumen de cada paso de la metodología descrita en la [Figura 2](#).

A. SELECCIÓN DE BASES DE DATOS: BASE DE DATOS HAM10000

Las redes neuronales artificiales en tareas de clasificación requieren una gran cantidad de datos previamente etiquetados. Cada imagen debe contar con una etiqueta que indique claramente la clase o el objeto que contiene, lo cual es fundamental para que el modelo aprenda a distinguir entre diferentes categorías. Dado lo anterior, la base de datos HAM10000 fue identificada como adecuada para la realización de este proyecto. HAM10000, cuyo nombre es un acrónimo de “Human Against Machine with 10000 training images”, es un conjunto de datos de imágenes dermatoscópicas recopilado por la Universidad de Harvard [20], [23] que contiene 10 015

imágenes de diversas enfermedades y afecciones de la piel, con todas las imágenes clasificadas previamente por dermatólogos y otros profesionales médicos para garantizar la precisión y calidad de las etiquetas. Una de las razones por las que este es un conjunto ideal es el hecho de que contiene una diversidad de lesiones cutáneas.

Las imágenes en la base de datos incluyen una amplia variedad de lesiones cutáneas, lo que permite a los modelos aprender a diferenciar entre múltiples tipos de afecciones. Además, la gran cantidad de imágenes le da al modelo suficiente generalización de ejemplos para clasificar correctamente y tener un buen desempeño en la identificación de nuevas imágenes.

En la [Figura 3](#) se muestra la cantidad de imágenes que contiene la base de datos HAM10000, abarcando siete tipos de lesiones dermatológicas, etiquetadas y validadas por expertos.

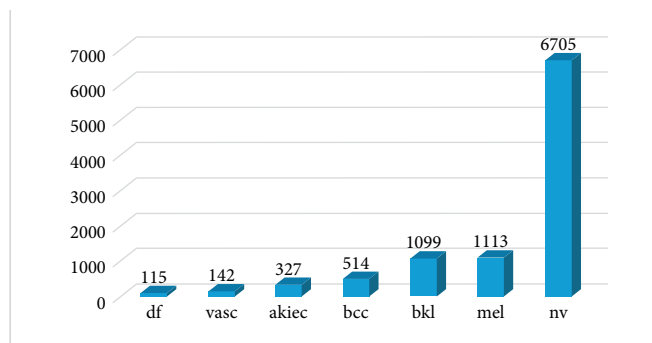


Figura 3. Clasificación y número de imágenes de lesiones contenidas en HAM10000 [20].

A continuación, se explica brevemente cada una de las lesiones:

- **Dermatofibroma (df):** con 115 imágenes, es un tumor benigno de la piel, generalmente inofensivo, causado por una reacción fibrosa del tejido conectivo. Sus características son: pequeño nódulo firme, normalmente marrón o rojizo, que puede sentirse debajo de la piel.
- **Lesiones vasculares (vasc):** con 142 imágenes, estas incluyen emangiomas, angiomas y telangiectasias, las cuales son alteraciones en los vasos sanguíneos de la piel. Sus características son: lesiones rojizas o violáceas, algunas veces elevadas, que sangran fácilmente.

- Queratosis actínica y carcinoma intraepitelial / enfermedad de Bowen (akiec): con 327 imágenes, es una lesión precancerosa que se desarrolla debido a la exposición prolongada al sol y que puede progresar a carcinoma escamoso si no se trata. Sus características: parches ásperos, escamosos o costrosos en la piel, de color rojo o marrón.
- Carcinoma de células basales (bcc): con 514 imágenes, es el tipo de cáncer de piel más común y de crecimiento lento. Rara vez hace metástasis, pero puede invadir tejidos cercanos. Sus características: lesión perlada o brillante, con vasos sanguíneos visibles; a veces tiene una úlcera central.
- Lesiones benignas similares a queratosis (bkl): con 1099 imágenes, es un grupo de lesiones benignas que incluyen la queratosis seborreica, queratosis líquen y queratosis solar. Sus características: superficie rugosa, pigmentada o con apariencia verrugosa. No representan riesgo de cáncer.
- Melanoma (mel): con 1113 imágenes, es un tipo de cáncer de piel más agresivo, con alta probabilidad de metástasis si no se detecta a tiempo. Sus características: manchas asimétricas, con bordes irregulares y colores mixtos (negro, marrón, azul, rojo). Suelen cambiar de tamaño o sangrar.
- Nevo melanocítico (nv): con 6705 imágenes, son lunares comunes y benignos formados por acumulaciones de melanocitos. Sus características: son redondos, simétricos, de color uniforme (marrón, negro o piel). En general, son inofensivos.

Como se puede observar en la [Figura 3](#), hay un problema de desbalanceo de clases significativo en la base de datos HAM10000. Por ejemplo, la clase de imágenes de nevus contiene un total de 6705 imágenes, mientras que de melanoma son 1113. Esto crea un problema considerable para los algoritmos de clasificación, ya que los resultados tienden a sesgar hacia las clases con un número mayor de ejemplos, generando un rendimiento desigual para la detección de melanoma.

B. ORGANIZACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

La base de datos contiene las imágenes en dos archivos .zip, junto con un archivo de metadatos que incluye información detallada sobre cada imagen, como el nom-

bre del archivo, diagnóstico, método de diagnóstico, edad, sexo del individuo y la ubicación de la lesión.

Para organizar los datos, cada imagen se colocó en la carpeta correspondiente según su diagnóstico, asegurando que cada tipo de lesión estuviera correctamente categorizado.

Posteriormente, todas las imágenes fueron redimensionadas a un tamaño uniforme, garantizando que la Red Neural Convolutiva (RNC) pueda procesarlas de manera consistente.

C. BALANCEO DE DATOS

Para enfrentar este problema, que se refiere al desbalanceo entre las clases, fue necesario aplicar la técnica de aumento de datos (*data augmentation*) [24], [25], [26], dado que permiten crear nuevas variaciones de las imágenes existentes [26], [27]. De esta manera, se incrementa la cantidad de datos con la clase menos representada, como el dermatofibroma, pero a la vez ayuda a mejorar la capacidad de generalización del modelo, puesto que permitirá que este pueda reconocer patrones y características más diversificados.

En este caso, para realizar pruebas preliminares se tomaron de forma aleatoria 500 muestras de las clases con mayor cantidad de imágenes y se aplicó *data augmentation* para las clases con menor número de imágenes, con el fin de tener un conjunto de datos más equilibrado.

De esta forma, el sistema se entrenó de una manera más equilibrada y, en consecuencia, su rendimiento en la clasificación de las imágenes de melanoma se verá incrementado a pesar del desbalanceo existente de modo inicial en la base de datos.

D. SELECCIÓN DE ARQUITECTURA PREENTRENADA

El lenguaje de programación utilizado fue Python, ya que cuenta con librerías como Keras y contiene RNC, modelos preentrenados como ResNet, VGG, Inception y Xception, entre otros [28]. Estos modelos son muy populares y útiles para tareas como la clasificación de imágenes, segmentación, detección de objetos y más. Debido a que los modelos vienen preentrenados en el conjunto de datos ImageNet, que contiene millones de imágenes clasificadas en 1000 categorías. Esto permite usar los modelos para tareas de clasificación y extrac-

ción de características sin necesidad de entrenarlos desde cero. Con esto, es posible seleccionar qué parte del modelo utilizar (por ejemplo, con o sin las capas de clasificación finales), personalizando fácilmente los modelos preentrenados, ya sea agregando nuevas capas, ajustando el número de clases o aplicando ajuste (*fine-tuning*) para adaptarlo a tareas específicas. Así, se puede utilizar cualquier capa intermedia de estos modelos como extractor de características y luego aplicar un clasificador como SVM, Random Forest o capas densas adicionales [29].

E. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y APRENDIZAJE POR TRANSFERENCIA

En el aprendizaje por transferencia se utiliza un modelo preentrenado en una tarea específica (como clasificación de imágenes en ImageNet) y luego se ajusta para una tarea diferente pero relacionada [30], tal como la clasificación de lesiones en imágenes médicas [31], [32], [33]. Para extraer características utilizando una red preentrenada, proceso que se conoce como *feature extraction*, se suelen utilizar las capas anteriores a la capa de clasificación final [34], como se muestra en la [Figura 4](#).

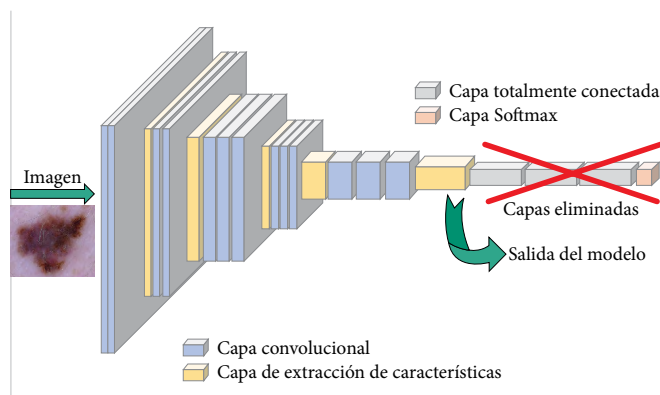


Figura 4. Extracción de características con arquitectura VGG16. Adaptada de [35].

Este proceso se explica a continuación:

- Seleccionar una red preentrenada: se utilizan redes como VGG16, ResNet, Inception, o EfficientNet, que ya están entrenadas en un gran conjunto de datos como ImageNet.
- Congelar las capas: usualmente, se congelan las capas convolucionales que actúan como un extractor de características genérico. Solo se hace *fine-tuning*.

- Eliminar la última capa de clasificación: esta capa está ajustada a una tarea específica, como clasificar en 1000 clases de ImageNet, por lo que no es necesaria. En las redes comunes, esta capa suele ser una capa *fully connected* o de tipo softmax. En su lugar, se utiliza la salida de una de las últimas capas convolucionales o de *pooling*.

F. REDUCCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Con el objetivo de reducir características, se aplicó PCA para simplificar el conjunto de datos de alta dimensionalidad [22], [36] que sale de la RNC, transformándolo en un conjunto con menos dimensiones, mientras se preserva la mayor cantidad posible de la información relevante. Específicamente, PCA busca transformar las características originales en nuevas variables llamadas componentes principales, que son combinaciones lineales de las características originales, ordenadas por la cantidad de varianza (información) que explican. De tal manera, se evita el sobreajuste en el modelo de aprendizaje automático, ya que esto significa que el modelo se ajusta demasiado bien a los datos de entrenamiento y no generaliza bien en nuevos datos. Al reducir la dimensionalidad con PCA, se eliminan las características redundantes para evitar el sobreajuste y así entrenar un clasificador.

G. ENTRENAR UN CLASIFICADOR

Cuando se entrena un clasificador utilizando las características que fueron extraídas de la RNC y reducidas con PCA se mejora el rendimiento del sistema en términos de precisión, eficiencia computacional y generalización, al simplificar los datos y enfocarse en la información relevante. Se puede utilizar diferentes clasificadores y en este caso se eligió Máquina de Soporte Vectorial (SVM) por ser efectiva en espacios de alta dimensión y funciona bien cuando hay una separación clara entre las clases [37].

Después de la reducción de características, el conjunto de características es menos ruidoso, lo que permite que el clasificador se concentre en los patrones más relevantes. A su vez, esto permite al clasificador descubrir los patrones importantes en los datos [38]. Además, al entrenar un clasificador con un número menor de características, es decir, menor dimensionalidad después de PCA, se posibilitó que el sistema se entrenara más rápido y así consumiera menos recursos computacionales comparado con usar todas las características originales.

Esto es especialmente importante al trabajar con grandes conjuntos de datos, como imágenes o datos de alta dimensión. Finalmente, menos características también significan predicciones más rápidas.

III. RESULTADOS PRELIMINARES

Como resultado de la metodología que se describió anteriormente se obtuvieron los datos, aplicando las técnicas de aprendizaje profundo y aprendizaje por transferencia a tres RNC: VGG16, VGG19 y ResNet50.

Este análisis fue el paso inicial para validar la metodología propuesta, ya que esta aún se encuentra en proceso de ajuste y optimización.

Con los resultados de la aplicación de la metodología a los modelos mencionados anteriormente para la extracción de características y aplicando el clasificador al conjunto de entrenamiento se obtuvo la [Tabla 1](#), la cual muestra la relación entre los valores predichos y los reales para así medir la exactitud, la precisión general del sistema, y sus promedios.

TABLA 1
MÉTRICAS DE LAS RNC OBTENIDAS CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA

RNC	EXACTITUD	MACRO PROMEDIO			PROMEDIO PONDERADO		
		PRECISIÓN	SENSIBILIDAD	F1-SCORE	PRECISIÓN	SENSIBILIDAD	F1-SCORE
VGG16	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
VGG19	0.88	0.87	0.88	0.87	0.88	0.88	0.88
RESNET50	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00

En la [Tabla 1](#) se muestran los resultados preliminares de las pruebas que se realizaron aplicando la metodología propuesta. La cual contiene los siguientes datos:

- Exactitud (*accuracy*): es la exactitud que obtuvo el sistema.
- Macro promedio (*macro avg*): el macro promedio calcula el promedio de cada métrica (precisión, sensibilidad y F1-score) de manera simple, sin tener en cuenta el desequilibrio de clases. Calcula cada métrica para cada clase y para luego promediar los valores.
- Promedio ponderado (*weighted avg*): es el promedio ponderado, toma en cuenta el número de muestras en cada clase. Calcula cada métrica (precisión, sensibilidad, y F1-score) para cada clase y para promediar estos valores ponderados por el número de muestras de cada clase.
- Sensibilidad (*recall*): indica el porcentaje de casos positivos que el sistema ha logrado predecir correctamente.
- El F1-score esta una métrica combina precisión (*precision*) y sensibilidad (*recall*) en un solo valor, proporcionando una medida balanceada de la precisión del modelo y determina la capacidad

para identificar correctamente los positivos y evitar los falsos positivos y falsos negativos.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados mostrados en la sección anterior son el análisis inicial de la metodología aplicada para clasificar imágenes de lesiones. Aunque las métricas preliminares presentadas anteriormente validen la primera etapa de la técnica aplicada, también destacan la necesidad de algunos ajustes y optimizaciones en el futuro.

Con base en la extracción de características, se presentó las tres RNC previamente entrenadas. A partir de la metodología de Transfer Learning, estas redes permitieron a esta técnica capturar patrones muy complejos en las imágenes que luego se simplificaron a través de reducción de dimensionalidad, convirtiendo la mayor parte de la entrada de dimensionalidad en ruido. El clasificador SVM construido a partir de esta información distingue con mayor precisión entre los distintos tipos de lesiones.

Con estos resultados se logró identificar mejoras y próximos ajustes en el rendimiento del modelo, con la finalidad de desarrollar un sistema de diagnóstico preciso y confiable, para lograr obtener una herramienta que apoye a la sociedad en general, disminuyendo en un mediano plazo los efectos negativos de un diagnóstico tardío.

REFERENCIAS

- [1] A. C. Geller *et al.*, “Advancing Survivors Knowledge (ASK Study) of Skin Cancer Surveillance after Childhood Cancer: A Randomized Controlled Trial in the Childhood Cancer Survivor Study”, *J Clin Oncol*, vol. 41, n.º 12, pp. 2269-2280, abr. 2023, doi: [10.1200/JCO.22.00408](https://doi.org/10.1200/JCO.22.00408).
- [2] H. Sung *et al.*, “Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries”, *CA Cancer J Clin*, vol. 71, n.º 3, pp. 209-249, may. 2021, doi: [10.3322/caac.21660](https://doi.org/10.3322/caac.21660).
- [3] WHO, *The effect of occupational exposure to solar ultraviolet radiation on malignant skin melanoma and non-melanoma skin cancer: a systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO joint estimates of the work-related burden of disease and injury*. Ginebra: World Health Organization, 2021.
- [4] J. F. Gallegos. “En verano, reforzar cuidados para reducir riesgos de cáncer de piel”. GOB.mx. Disponible: <https://www.gob.mx/imss/articulos/en-verano-reforzar-cuidados-para-reducir-riesgos-de-cancer-de-piel?idiom=es> (accedido: oct. 23, 2024).
- [5] A. Cámara-Salazar *et al.*, “Características individuales y por entidad federativa de la mortalidad por melanoma en México entre 2014 y 2018”, *Dermatol Rev Mex*, vol. 64, n.º 3, pp. 248-254, may. 2020.
- [6] J. F. Gallegos. “Día Mundial del Melanoma Cutáneo”. GOB.mx. Disponible: <https://www.gob.mx/imss/articulos/dia-mundial-del-melanoma-cutaneo?idiom=es> (accedido: oct. 23, 2024).
- [7] American Cancer Society. “Cáncer de piel tipo melanoma”. CANCER.net. <https://www.cancer.org/es/cancer/tipos/cancer-de-piel-tipo-melanoma.html> (accedido: ag. 23, 2025).
- [8] IARC, “Melanoma Awareness Month 2022”. IARC.who.int. <https://www.iarc.who.int/news-events/melanoma-awareness-month-2022/> (accedido: oct. 17, 2022).
- [9] C. Alonso-Belmonte, T. Montero-Vilchez, S. Arias-Santiago y A. Buendía-Eisman, “Situación actual de la prevención del cáncer de piel: una revisión sistemática”, *Actas Dermosifiliogr*, vol. 113, n.º 8, pp. 781-791, sept. 2022, doi: [10.1016/j.ad.2022.04.015](https://doi.org/10.1016/j.ad.2022.04.015).
- [10] Secretaría de Salud. “Falta de prevención y detección tardía ocasiona 30% de fallecimientos en pacientes con melanoma”. GOB.mx. <https://www.gob.mx/salud/prensa/196-falta-de-prevencion-y-deteccion-tardia-ocasiona-30-de-fallecimientos-en-pacientes-con-melanoma> (accedido: oct. 23, 2024).
- [11] Mayo Clinic. “Diagnóstico y tratamiento”. Cáncer de piel. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/skin-cancer/diagnosis-treatment/drc-20377608> (accedido: oct. 17, 2022).
- [12] D. N. H. Thanh, V. B. S. Prasath, L. M. Hieu y N. N. Hien, “Melanoma Skin Cancer Detection Method Based on Adaptive Principal Curvature, Colour Normalisation and Feature Extraction with the ABCD Rule”, *J Digit Imaging*, vol. 33, n.º 3, pp. 574-585, jun. 2020, doi: [10.1007/s10278-019-00316-x](https://doi.org/10.1007/s10278-019-00316-x).
- [13] P. Castañeda y J. E. Téllez, “El cáncer de piel, un problema actual”, *Rev. Fac. Med. (Méx.)*, vol. 59, n.º 2, pp. 6-14, mar./abr. 2016.
- [14] “Abordaje Diagnóstico del Melanoma Maligno”, catálogo maestro de guías de práctica clínica IMSS-547-1, Instituto Mexicano del Seguro Social, Ciudad de México, 2012. [En línea]. Disponible: <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/547GRR.pdf>
- [15] I. Arellano, Saúl. *Lecciones de Dermatología*, 16.ª ed. México: McGraw Hill, 2015.
- [16] H. Kittler, H. Pehamberger, K. Wolff y M. Binder, “Diagnostic accuracy of dermoscopy”, *Lancet Oncol*, vol. 3, n.º 3, pp. 159-165, mar. 2002, doi: [10.1016/S1470-2045\(02\)00679-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(02)00679-4).
- [17] P. Weber, P. Tschandl, C. Sinz y H. Kittler, “Dermatoscopy of Neoplastic Skin Lesions: Recent Advances, Updates, and Revisions”, *Curr Treat Options Oncol*, vol. 19, n.º 11, sept. 2018, doi: [10.1007/s11864-018-0573-6](https://doi.org/10.1007/s11864-018-0573-6).
- [18] N. C. F. Codella *et al.*, “Skin Lesion Analysis Toward Melanoma Detection: A Challenge at the 2017 International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), Hosted by the International Skin Imaging Collaboration (ISIC)”, *arXiv:1710.05006*, oct. 2017. [En línea].

Disponible: arXiv, doi: [10.48550/arXiv.1710.05006](https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.05006).
[Accedido: oct. 23, 2024].

- [19] S. Jinnai, N. Yamazaki, Y. Hirano, Y. Sugawara, Y. Ohe y R. Hamamoto, “The development of a skin cancer classification system for pigmented skin lesions using deep learning”, *Biomolecules*, vol. 10, n.º 8, pp. 1-13, ag. 2020, doi: [10.3390/biom10081123](https://doi.org/10.3390/biom10081123).
- [20] P. Tschandl, C. Rosendahl y H. Kittler, “Data descriptor: The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions”, *Sci Data*, vol. 5, n.º 180161, pp. 1-9, 2018, doi: [10.1038/sdata.2018.161](https://doi.org/10.1038/sdata.2018.161).
- [21] J. Bobadilla, *Machine Learning y Deep Learning: Usando Python, Scikit y Keras*. Colombia: Ediciones de la U, 2021.
- [22] H.-J. Chiu, T.-H. S. Li y P.-H. Kuo, “Breast Cancer-Detection System Using PCA, Multilayer Perceptron, Transfer Learning, and Support Vector Machine”, en *IEEE Access*, vol. 8, pp. 204309-204324, 2020, doi: [10.1109/ACCESS.2020.3036912](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036912).
- [23] L. Hoang, S. H. Lee, E. J. Lee y K. R. Kwon, “Multiclass Skin Lesion Classification Using a Novel Lightweight Deep Learning Framework for Smart Healthcare”, *Appl. Sci.*, vol. 12, n.º 5, mar. 2022, doi: [10.3390/app12052677](https://doi.org/10.3390/app12052677).
- [24] C. Shorten y T. M. Khoshgoftaar, “A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning”, *J Big Data*, vol. 6, n.º 60, 2019, doi: [10.1186/s40537-019-0197-0](https://doi.org/10.1186/s40537-019-0197-0).
- [25] L. Taylor y G. Nitschke, “Improving Deep Learning with Generic Data Augmentation”, *2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, Bangalore, India, 2018, pp. 1542-1547, doi: [10.1109/SSCI.2018.8628742](https://doi.org/10.1109/SSCI.2018.8628742).
- [26] I. S. Ali, M. F. Mohamed y Y. B. Mahdy, “Data Augmentation for Skin Lesion using Self-Attention based Progressive Generative Adversarial Network”, *arXiv:1910.11960*, oct. 2019. [En línea]. Disponible: arXiv, doi: [10.48550/arXiv.1910.11960](https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.11960). [Accedido: oct. 23, 2024].
- [27] D. Bisla, A. Choromanska, R. S. Berman, J. A. Stein, D. Polsky y R. O. Perelman, “Towards Automated Melanoma Detection with Deep Learning: Data Purification and Augmentation”, *arXiv:1902.06061*, 2019. [En línea]. Disponible: arXiv, doi: [10.48550/arXiv.1902.06061](https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.06061). [Accedido: oct. 23, 2024].
- [28] S. Joshi, J. A. Owens, S. Shah y T. Munasinghe, “Analysis of Preprocessing Techniques, Keras Tuner, and Transfer Learning on Cloud Street image data”, *2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Orlando, FL, EUA, 2021, pp. 4165-4168, doi: [10.1109/BigData52589.2021.9671878](https://doi.org/10.1109/BigData52589.2021.9671878).
- [29] P. Sutradhar, P. Kumer, I. Prodan, S. Saddi y V. S. Rozario, “Multi-Modal Case Study on MRI Brain Tumor Detection Using Support Vector Machine, Random Forest, Decision Tree, K-Nearest Neighbor, Temporal Convolution & Transfer Learning”, *AIUB J. Sci. Eng.*, vol. 20, n.º 3, sept. 2021.
- [30] D. N. T. Le, H. X. Le, L. T. Ngo y H. T. Ngo, “Transfer learning with class-weighted and focal loss function for automatic skin cancer classification”, *arXiv:2009.05977*, sept. 2020. [En línea]. Disponible: arXiv, doi: [10.48550/arXiv.2009.05977](https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.05977).
- [31] A. Abbas, M. M. Abdelsamea y M. M. Gaber, “DeTrac: Transfer Learning of Class Decomposed Medical Images in Convolutional Neural Networks”, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 74901-74913, 2020, doi: [10.1109/ACCESS.2020.2989273](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2989273). [Accedido: oct. 23, 2024].
- [32] L. Singh, R. R. Janghel y S. P. Sahu, “TrCSVM: a novel approach for the classification of melanoma skin cancer using transfer learning”, *Data Technol. Appl.*, vol. 55, n.º 1, pp. 64-81, en. 2021, doi: [10.1108/DTA-06-2020-0126](https://doi.org/10.1108/DTA-06-2020-0126).
- [33] H. K. Kondaveeti y P. Edupuganti, “Skin Cancer Classification using Transfer Learning”, *2020 IEEE International Conference on Advent Trends in Multidisciplinary Research and Innovation (ICATMRI)*, Buldhana, India, 2020, pp. 1-4, doi: [10.1109/ICATMRI51801.2020.9398388](https://doi.org/10.1109/ICATMRI51801.2020.9398388).
- [34] S. Jain, U. Singhanian, B. Tripathy, E. A. Nasr, M. K. Aboudaif y A. K. Kamrani, “Deep learning-based transfer learning for classification of skin cancer”, *Sensors*, vol. 21, n.º 23, dic. 2021, doi: [10.3390/s21238142](https://doi.org/10.3390/s21238142).
- [35] S. A. Althubiti, F. Alenezi, S. Shitharth, K. Sangeetha y V. S. R. Chennareddy, “Circuit Manufacturing Defect Detection Using VGG16 Convolutional Neural

Networks”, *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2022, n.º 1070405, 2022, doi: [10.1155/2022/1070405](https://doi.org/10.1155/2022/1070405).

- [36] M. P. Uddin, M. Al Mamun y M. A. Hossain, “PCA-based Feature Reduction for Hyperspectral Remote Sensing Image Classification”, *IETE Tech. Rev.*, vol. 38, n.º 4, pp. 377-396, 2020, doi: [10.1080/02564602.2020.1740615](https://doi.org/10.1080/02564602.2020.1740615).

- [37] R. O. Ogundokun, S. Misra, A. O. Akinrotimi y H. Ogul, “MobileNet-SVM: A Lightweight Deep Transfer Learning Model to Diagnose BCH Scans for IoMT-Based Imaging Sensors”, *Sensors* 2023, vol. 23, n.º 2, en. 2023, doi: [10.3390/S23020656](https://doi.org/10.3390/S23020656).

- [38] A. Kumar, A. Ashok y M. A. Ansari, “Brain Tumor Classification Using Hybrid Model Of PSO And SVM Classifier”, *2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, Greater Noida, India, 2018, pp. 1022-1026, doi: [10.1109/ICACCCN.2018.8748787](https://doi.org/10.1109/ICACCCN.2018.8748787).

RECONOCIMIENTOS

La primera autora agradece a la UACJ y al CONAHCYT por el apoyo brindado a través de la beca doctoral (CVU 272489), que ha permitido la realización de este proyecto.

La sostenibilidad y la mejora continua

Sustainability relating to continuous improvement

Cristina Zapien Guerrero¹ , Erick Gerardo Molina Castañeda² 

¹Doctorado en Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

²The University of Texas at El Paso, College of Engineering, Department of Industrial, Manufacturing and Systems Engineering, Program Master of Science in Manufacturing Engineering, El Paso, TX, EUA

RESUMEN

En la última década, las empresas han incorporado la sostenibilidad como parte de sus estrategias, con el propósito de garantizar el bienestar de las futuras generaciones. Según la revisión de la literatura, una de las primeras formas en que se ha aplicado este concepto es mediante la mejora continua, un enfoque sistemático orientado a optimizar procesos, productos y/o servicios, identificando oportunidades para reducir o eliminar actividades innecesarias. En el contexto de la sostenibilidad, esto se traduce en acciones como la disminución del consumo de energía, la generación de residuos y el uso de materiales, entre otros. El objetivo principal de esta investigación es llevar a cabo una revisión de la literatura junto con un análisis bibliométrico, utilizando un proceso de cinco etapas: recopilación, análisis, visualización e interpretación de datos, seguido de la presentación de resultados. La base de datos utilizada fue EBSCO, y se emplearon como palabras clave en el título los términos *sustainability* y *continuous improvement*. A partir de esta búsqueda, limitada a publicaciones arbitradas entre 2015 y la actualidad, se identificaron 3025 documentos. El análisis de estos trabajos evidencia que la ingeniería industrial ha desempeñado un papel clave al integrar la mejora continua con los principios de sostenibilidad, ayudando a que las industrias asuman una mayor responsabilidad social y ambiental mediante la optimización de sus procesos. Como resultado, se generó un mapa bibliográfico que muestra la conexión entre artículos similares a través de autores, palabras clave y otros elementos analíticos.

PALABRAS CLAVE: mejora continua; sostenibilidad; ingeniería industrial.

ABSTRACT

Over the past decade, organizations have increasingly embraced sustainability as a strategic imperative aimed at safeguarding the well-being of future generations. According to the literature, one of the initial approaches through which sustainability has been operationalized is via continuous improvement—a systematic methodology focused on enhancing processes, products, and services by identifying and eliminating inefficiencies. Within the sustainability framework, this approach is exemplified by efforts to minimize energy consumption, waste generation, and material usage, among other resource-intensive activities. The objective of this study is to conduct a comprehensive literature review and a bibliometric analysis, following a structured five-phase methodology: data collection, data analysis, data visualization, interpretation, and presentation of results. The EBSCO database was employed for the search, using the title keywords *sustainability* and *continuous improvement*, and filtering for peer-reviewed publications from 2015 to the present. This search yielded a total of 3,025 relevant documents. The analysis reveals that industrial engineering has played a significant role in bridging continuous improvement methodologies with sustainability principles, thereby enabling industries to strengthen their social and environmental responsibility through process optimization. As a final outcome, a bibliographic map was developed, illustrating interconnections among related studies based on authorship, keywords, and other bibliometric indicators.

KEYWORDS: continuous improvement; sustainability; industrial engineering.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Cristina Zapien Guerrero

INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez/ Instituto de Ingeniería y Tecnología

DIRECCIÓN: Ave. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

CORREO ELECTRÓNICO: cristina.zapien@uacj.mx

Fecha de recepción: 9 de junio de 2025. **Fecha de aceptación:** 10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2025.



I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible se entiende como aquel proceso que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para atender sus propias necesidades [1]. La producción o servicios de una industria puede tener efectos ambientales adversos [2] que pueden provenir de las operaciones de transformación o elaboración o del uso de las instalaciones industriales, ya que maquinaria y desechos pueden contaminar el ecosistema contiguo [3]. Tan solo en México, al cierre julio de 2024 había 5215 unidades económicas de manufactura y maquiladora de exportación [4], de ahí la importancia de acciones dirigidas a lograr la defensa, protección y mejora del medio ambiente, con base en el mejoramiento en las industrias.

La mejora continua es una estrategia estructurada orientada a optimizar de forma constante los procesos, productos y servicios dentro de una organización. Parte del principio de que siempre existen oportunidades de perfeccionamiento y se enfoca en la aplicación de cambios graduales o incrementales que contribuyan a elevar la eficiencia operativa, la calidad y la satisfacción del cliente [5], a través de la eliminación de los desperdicios a lo largo de toda la cadena de valor, creando procesos que requieren menor esfuerzo humano, capital, tiempo y espacio, para fabricar productos y servicios a un costo significativamente menor y con menos defectos, en comparación con los sistemas empresariales tradicionales la mayoría de las veces implementados por un ingeniero industrial.

Las metodologías de mejora continua en la ingeniería industrial son *Lean Manufacturing*, el ciclo *DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), *PDCA* (*Plan, Do, Check, Act*), *Six Sigma*, *TQM* (*Total Quality Management*) y *RCA* (*Root Cause Analysis*), entre otras [6], [7]. Estas metodologías aplicadas por ingenieros industriales en la convergencia de sostenibilidad es la adaptación de prácticas sustentables a través de estos métodos, incluyendo la rastreabilidad del impacto en los métricos económicos, sociales y ambientales.

Las estrategias de mejoramiento que promueven la sostenibilidad se han empleado en distintos campos. Por ejemplo, se han usado en cadena de suministros, servicios, procesos de transformación, de oficina, entre otros [8], [9], [10].

La presente investigación ha tenido como objetivo evaluar la producción científica de la sostenibilidad y la mejora continua, siendo un estudio descriptivo transversal mediante el análisis bibliométrico de las publicaciones arbitradas en EBSCOhost de 2015 a 2024 y concluir su interacción.

Los mapas científicos, también conocidos como mapas bibliométricos, son una clase de mapas conceptuales que muestran de manera espacial las áreas o disciplinas, especializaciones o publicaciones, así como las interrelaciones entre dichos elementos [11]. En consecuencia, estos diagramas constituyen herramientas valiosas para los investigadores, ya que facilitan la identificación de información significativa sobre la estructura y evolución de un campo científico.

En estos mapas existen dos tipos de elementos: los ítems y los enlaces. Los ítems representan autores, instituciones, documentos, fuentes de publicación, países, palabras clave, etc. Por otra parte, los enlaces indican las relaciones o conexiones existentes entre los diferentes ítems. Por ejemplo, un enlace que une a dos autores puede reflejar una colaboración en la coautoría de trabajos. En cuanto a su representación visual, es importante señalar que el tamaño de cada ítem está relacionado con su relevancia dentro de la muestra analizada, mientras que el grosor de los enlaces depende de la intensidad de la relación; es decir, cuanto más fuerte sea la conexión entre dos ítems, más gruesa será la línea que los conecta [12].

El análisis de los datos, utilizando la metodología de revisión de literatura propuesta, revela que la ingeniería industrial ha desempeñado un papel fundamental al combinar la mejora continua con la sostenibilidad, lo que ha permitido a las industrias optimizar sus procesos y productos, así como generar un impacto positivo en el entorno ambiental y social. Esta integración crea un valor duradero y refuerza la competitividad en un entorno industrial cada vez más consciente de la importancia de la responsabilidad social y ambiental.

II. METODOLOGÍA

La metodología aplicada fue de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo. Se usaron indicadores bibliométricos para realizar el estudio. El primer paso fue la búsqueda en la base de datos de EBSCO y, luego de obtener los resultados, se seleccionaron las publicaciones con el

fin de que ligen el término sostenible a las metodologías de mejora continua. Finalmente, se procedió al análisis y conclusiones.

A. BÚSQUEDA DE DATOS

Para la construcción de la ecuación de búsqueda se tomaron como base los temas de la investigación, que son: *sostenibilidad, mejora continua, manufactura, manufactura verde e industrias*, limitándose a publicaciones arbitradas desde 2015. A partir de este punto se diseñó la ecuación, presentada en el párrafo siguiente, con la cual se obtuvieron 3025 publicaciones.

TITLE-ABS-KEY ("sustainability") AND ALL [title, abstract, and keywords fields] "continuous improvement" AND "manufacturing" AND "green manufacturing" AND industries OR industry)

B. SELECCIÓN

Como primer criterio se excluyeron trabajos con títulos similares, obteniéndose 2896. Como segundo criterio se consideraron aquellos trabajos que incluyen los pilares económico, social y ambiental, independientemente de que se evaluaran por separado o simultáneamente 1152. Como tercer criterio se agregaron a la búsqueda los términos relacionados con metodologías de mejora continua, lográndose 584. Y como cuarto criterio se realizó una revisión detallada del artículo a través de una verificación manual del título, palabras clave y resumen para identificar si el artículo se relacionaba con la mejora continua y la sostenibilidad de las industrias. Según lo evaluado, se encontraron 309 artículos (Figura 1).

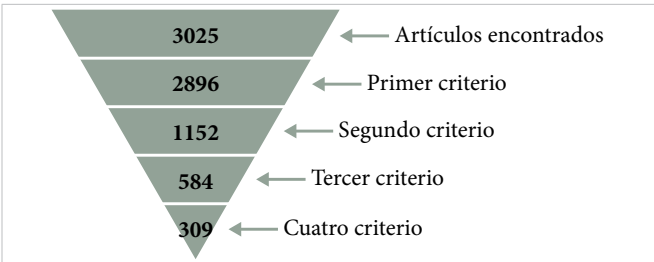


Figura 1. Sumario de selección. Fuente: elaboración propia.

C. ANÁLISIS

A partir de los datos bibliográficos de los 309 artículos obtenidos, se utilizaron diversos indicadores bibliométricos,

tales como el historial de publicaciones, las revistas en las que se publicaron, los tipos de publicación, las palabras clave y las citación de los autores.

- Cronología de publicaciones. Este indicador muestra el número de publicaciones realizadas a través de los años seleccionados (Figura 2), en el cual se ve una tendencia de crecimiento incremental a partir del año 2020.

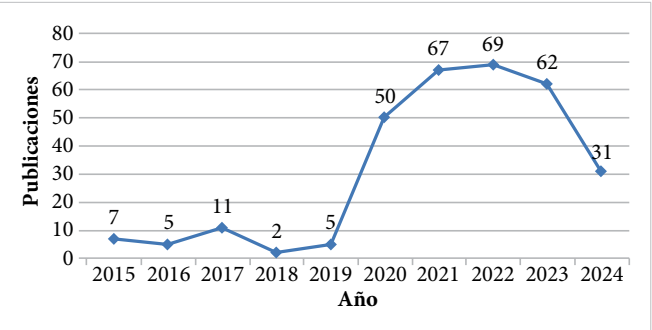


Figura 2. Gráfica de distribución de datos por año. Fuente: EBSCO y Google Académico, adaptado por autores.

- Revistas de publicaciones. Este muestra el listado de revistas y el número de publicaciones científicas de cada una de ellas (Tabla 1), teniendo como mayor contribuidor con un 15 % o 48 publicaciones a la revista *Sustainability*, publicada por la editorial MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), seguida del *Journal of Cleaner Production*, con un 5 %, de la editorial Elsevier.

TABLA 1
CLASIFICACIÓN POR REVISTAS

REVISTAS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	TOTAL
<i>Sustainability</i>	0	0	0	1	2	7	12	17	8	1	48
<i>J Clean Prod</i>	0	0	0	0	0	2	4	3	5	0	14
<i>TQM Journal</i>	0	0	0	0	0	2	2	1	5	1	11
<i>Prod. Plan. Control.</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	5	1	8
<i>Total Qual. Manag. Bus.</i>	0	0	0	1	0	1	3	1	1	0	7
<i>Int. J. Lean Six Sigma</i>	0	0	0	0	0	1	3	0	3	0	7
<i>Bus. Strategy Environ.</i>	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	6
<i>Processes</i>	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	5
<i>J. Ind. Eng. Manag.</i>	0	1	0	0	0	2	1	0	1	0	5
<i>World J. Adv. Res. Rev.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Otras	7	4	11	0	3	33	38	43	31	24	194
Total	7	5	11	2	5	50	67	69	62	31	309

- Tipos de publicaciones. La clasificación abarca artículo publicado en revistas científicas, artículos de conferencias y capítulos de libro.

En la [Tabla 2](#) se muestra la cantidad distribuida mostrando una mayor participación de publicaciones en revistas científicas.

TABLA 2
CLASIFICACIÓN POR TIPO DE PUBLICACIÓN

TIPO DE PUBLICACIÓN	CANTIDAD
Artículo en <i>journal</i>	285
Conferencia	22
Capítulo de Libro	2

- Palabras clave. Para las palabras clave se usó el método de fuerza de asociación, el cual busca determinar cuáles categorías se relacionan más entre ellas y se agrupan acorde con ello.

Para esto se usó el software libre VosViewer, que es un recurso para análisis bibliométrico que ayuda a crear redes bibliométricas para ver gráficamente estas relaciones. El enfoque de la investigación se refleja en la [Figura 3](#) con un gráfico de co-ocurrencia de palabras clave, en la que se destacan *sustainability*, *industry*, *manufacturing sustainability*, *continuous improvement strateg*, *lean manufacturing*, *practice*, *framework*, mostrando una relación entre *sostenible e industrias*. En total se generaron 7 clústers y 49 ítems y las ocurrencias indican la cantidad total de apariciones de un término en todos los documentos. Sin embargo, a pesar de los 49 ítems u objetos de interés se observa co-ocurrencia con *mejora continua* y *manufatura esbelta*, relacionando a *sostenibilidad e industrias* con los colores amarillo y naranja, representando una fuente de investigación futura más amplia para el papel del ingeniero industrial en manufatura sostenible o manufacturing green.

- Citación de autores. Este indicador presenta cómo se relacionan y son citados los autores.

El método utilizado para encontrar las relaciones y los grupos es la co-citación [13], que se refiere a la relación que surge cuando dos ítems de la literatura son citados conjuntamente por un tercero. Además, estos autores indican que la fuerza de dicha relación depende del número de documentos que incluyen ambos ítems en sus referencias. En este contexto, para representar la co-citación en el área de la sostenibilidad en la industria y la mejora continua, se identificaron un total de 1077 autores, cuya co-citación se visualiza

en el mapa bibliométrico presentado en la [Figura 4](#). El análisis para conocer su co-citación, a través también del software VosViewer, encontró cuatro autores principales presentados en la [Tabla 3](#), que muestra su procedencia, finalidad de estudio y número de artículos que contribuyen a esta investigación.

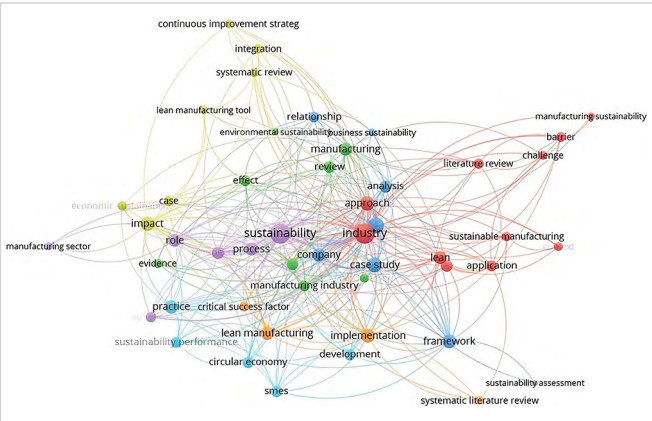


Figura 3. Palabras claves relacionadas en la revisión del artículo. Fuente: elaboración propia.

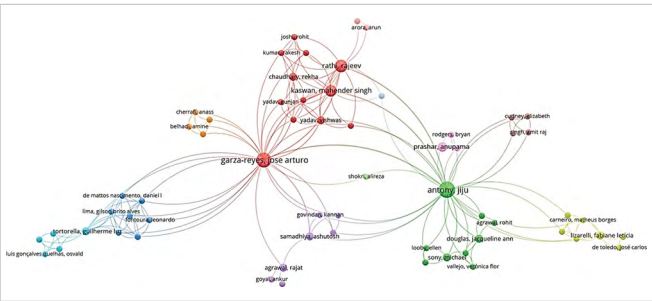


Figura 4. Co-citación de la revisión de los artículos. Fuente: elaboración propia.

TABLA 3
AUTORES PRINCIPALES

AUTOR / UNIVERSIDAD / INVESTIGACIÓN / UBICACIÓN	ARTÍCULOS
Jiju Antony / Khalifa University / Industrial and Systems Engineering / Emiratos Árabes Unidos	11
Jose Arturo Garza-Reyes / University of Derby / Centre for Supply Chain Improvement / Reino Unido	9
Rajeev Rath / National Institute of Technology, Kurukshetra / Exploration and Investigation of Green Lean Six Sigma / India	6
Mahender Singh Kaswan / Lovely Professional University / Green Lean Six Sigma for Sustainable Development / India	5

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de la revisión de literatura y los mapas bibliométricos de sostenibilidad, centrados en el aspecto mejora

continua, se pretende que las empresas de manufactura o industrias, a través de la ingeniería industrial, se enfoquen en satisfacer las necesidades tanto de los empleados como de la sociedad. Entre los resultados, en términos de relación de mejora continua, se encuentra una estrecha relación con las palabras claves *sostenible*, *industria*, *impacto* y *enfoque*, tal como se muestra en la [Figura 5](#).

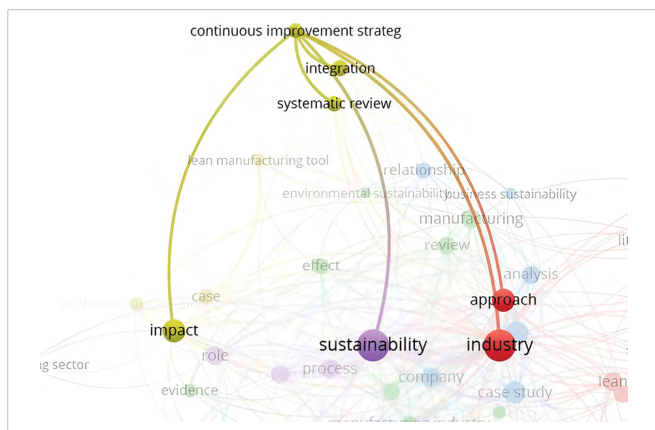


Figura 5. Palabras claves relacionadas solo con mejora continua. Fuente: elaboración propia.

En las publicaciones de este interés se encontraron las siguientes herramientas: Kaizen, Gemba, Andon, Poka-yoke, TPM, OEE y Jidoka [14]; en algunos trabajos, la disminución del desperdicio generando un impacto en la sostenibilidad [15], [16]; la aplicación de Value Stream Mapping (VSM) y su impacto en los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) [17], [18]; indicadores de desempeño, como lo son el factor económico [19], a través de herramientas de costeo como es Costeo Basado en Actividades (ABC) y las herramientas del ciclo de Deming de PDCA para desarrollar un sistema de gestión de costos para la mejora continua de la eficiencia operativa y la reducción de costos con un enfoque ambiental [20].

Por otro lado, el uso de herramientas de control automatizadas alineadas al progreso de la industria provoca un aumento significativamente en el rendimiento general, la productividad y la producción, además de optimización costos y el consumo de recursos de manera eficiente [21], [22]. De acuerdo con publicaciones recientes, la mayoría de las industrias están cambiando gradualmente hacia una fabricación sostenible en términos de Industria 4.0 e Industria 5.0, que están centradas en lo humano, lo que quiere decir que se sitúa a las necesidades humanas en el centro del proceso de producción, preguntando qué puede hacer la tecnología por los trabajadores y cómo puede ser útil [7], [23], [24].

En este mismo sentido, la digitalización en la fabricación y transformación contribuye a la sostenibilidad ambiental al impulsar la eficiencia de los recursos y la información. Tal es el caso también de las operaciones de logística vinculadas de manera inteligente, dando un entorno de fabricación ágil o sistema *pull* y adaptativo en tiempo real [9], [25], aplicando la economía circular (EC), la cual es una alternativa válida para reemplazar el modelo lineal actual de consumo y desecho [26]. Asociando a ello está el término Green Supply Chain Management (GSCM), el cual considera una solución a los problemas ambientales y los hábitos de consumo en toda la cadena de suministro. El objetivo de GSCM y la mejora continua, en conjunto, es una combinación óptima de métricas de desempeño ambiental, económico, logístico, organizacional y de *marketing* [3].

En suma, en las publicaciones revisadas se destaca el uso herramientas de ingeniería industrial, a través de la filosofía de mejora continua, y su impacto directo en el desempeño sostenible de las industrias. Frick [27] afirma que el panorama industrial se está transformando profundamente a través de tecnologías y estándares emergentes como la digitalización, Quality 5.0 e Industria 5.0. Con base en estos hallazgos, se recomienda que la rama de ingeniería industrial, al aplicar la mejora continua, promueva acciones de sostenibilidad en todas sus aplicaciones para respaldar el crecimiento económico, social y ambiental de las empresas de manufactura y, a su vez, mejorar significativamente la productividad y la eficiencia operativa. Tal como mencionan Biswas y Das, existe una oportunidad de investigación amplia [7], [28].

IV. CONCLUSIONES

En el presente documento se desarrolló una descripción de las variables *sostenibilidad* y *mejora continua*, así como su búsqueda de producción científica. Los resultados obtenidos en el análisis de los documentos seleccionados ofrecen una base sólida para confirmar su asociación, así como, acorde al capítulo de resultados y discusión, se muestra una mejor comprensión de un campo de investigación de naturaleza multidisciplinar.

La aplicación de métodos bibliométricos está mostrando un gran potencial para la confirmación cuantitativa de ideas preconcebidas asociadas a la relación de estas disciplinas, considerando que el porcentaje de artículos que se han publicado es aún bajo si se tiene en cuenta el número total de publicaciones acerca de la sostenibilidad.

Como futuros pasos se propone un estudio especializado de las herramientas de mejora continua que han aplicado y su impacto en los métricos de la sostenibilidad, así como la evolución del papel del ingeniero industrial y su asociación al campo de la sostenibilidad, mientras impulsa mejoras de productividad, control y logística. Esta información es valiosa tanto para investigadores como para profesionales de ingeniería industrial que buscan mejorar el rendimiento operativo.

REFERENCIAS

- [1] WCED, "Our common future", World Commission on Environment and Development, Oslo, 1987.
- [2] A. Darmawan y D. Ahmad, "Development of an Environmental Insurance Program based on Islamic Values in the Palm Oil Industry in Indonesia for Community Welfare", *Iltizam*, vol. 6, n.º 1, pp. 145-159, 2022, doi: [10.30631/iltizam.v6i2.1385](https://doi.org/10.30631/iltizam.v6i2.1385).
- [3] M. Rosyidah, N. Khoirunnisa, U. Rofiatin, A. Asnah, A. Andiyan y D. Sari, "Measurement of key performance indicator Green Supply Chain Management (GSCM) in palm industry with green SCOR model", *Mater. Today Proc.*, vol. 63, suppl. 1, pp. S326-S332, 2022, doi: [10.1016/j.matpr.2022.03.158](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.158).
- [4] *Estadística Manufacturera y Maquiladora de Exportación*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.inegi.org.mx/temas/manufacturasexp/>
- [5] M. H. Islam, "Adopting lean product development in new production system introduction process for sustainable operational performance", *Int. J. Prod. Manag. Eng.*, vol. 12, n.º 2, 2024, doi: [10.4995/ijpme.2024.20822](https://doi.org/10.4995/ijpme.2024.20822).
- [6] F. Romana, "A Case Study for Management and Industrial Engineering Integration Approach", *Int. J. Eng. Manag. Humanit. Soc. Sci.*, vol. 4, n.º 2, pp. 6-15, 2023.
- [7] J. Biswas y S. Das, "Industrial Engineering Tools for Productivity Enhancement: An Analytical Review", *EJAET*, vol. 10, n.º 12, pp. 51-59, 2023.
- [8] N. Jamil, H. Gholami, M. Z. M. Saman, D. Streimikiene, S. Sharif y N. Zakuan, "DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping: towards a sustainable manufacturing system", *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*, vol. 33, n.º 1, pp. 331-360, 2020, doi: [10.1080/1331677X.2020.1715236](https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1715236).
- [9] J. Singh, H. Singh y A. Kumar, "Impact of lean practices on organizational sustainability through green supply chain management—an empirical investigation", *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 11, n.º 6, pp. 1035-1068, 2020, doi: [10.1108/IJLSS-06-2017-0068](https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2017-0068).
- [10] J. S. Toussaint, J. R. Griffith y S. M. Shortell, "Lean, Shingo, and the Baldrige framework: a comprehensive method to achieve a continuous-improvement management system", *NEJM Catal Innov Care Deliv*, vol. 1, n.º 3, 2020, doi: [10.1056/CAT.20.0114](https://doi.org/10.1056/CAT.20.0114).
- [11] H. Small, "Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents", *JASIST*, vol. 24, n.º 4, pp. 265-269, 1973, doi: [10.1002/asi.4630240406](https://doi.org/10.1002/asi.4630240406).
- [12] H. Pérez y G. Merino, "Bibliometría: herramienta para la identificación, distribución y evolución de la literatura científica", *Anuario del centro de la UNED de Calatayud*, vol. 26, pp. 151-165, 2020.
- [13] S. Miguel, F. Moya-Anegón y V. Herrero-Solana, "El análisis de co-citas como método de investigación en Bibliotecología y Ciencia de la Información", *Investig. bibl.*, vol. 21, n.º 43, pp. 139-155, 2007.
- [14] J. L. García-Alcaraz, A. S. Morales, J. R. Díaz-Reza, E. Jiménez, C. F. Javierre y J. Blanco, "Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras", *Environ Sci Pollut Res*, vol. 29, n.º 26, pp. 39622-39637, 2022, doi: [10.1007/s11356-022-18978-6](https://doi.org/10.1007/s11356-022-18978-6).
- [15] B. Logesh y M. Balaji, "Experimental investigations to deploy green manufacturing through reduction of waste using lean tools in electrical components manufacturing company", *Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech.*, vol. 8, n.º 2, pp. 365-374, 2021, doi: [10.1007/s40684-020-00216-4](https://doi.org/10.1007/s40684-020-00216-4).
- [16] M. Balaji, B. Logesh y R. Prabhu, "Enhancing Effective Industrial Sustainability through Green Manufacturing Practices by Waste Reduction using Lean Tools in Manufacturing Sector via Productivity Improvement, Economic and Enviro-Economic Perspective", *NeuroQuantology*, vol. 20, n.º 10, pp. 4304-4322, 2020, doi: [10.14704/nq.2022.20.10.NQ55418](https://doi.org/10.14704/nq.2022.20.10.NQ55418).

- [17] A. J. Naeemah y K. Y. Wong, "Positive impacts of lean manufacturing tools on sustainability aspects: a systematic review", *J. Ind. Prod. Eng.*, vol. 39, n.º 7, pp. 552-571, 2022, doi: [10.1080/21681015.2022.2041742](https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2041742).
- [18] J. R. Díaz-Reza, J. L. García-Alcaraz, L. J. Márquez, R. Puig i Vidal y J. C. Sáenz Diez, "Relationship between lean manufacturing tools and their sustainable economic benefits", *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 123, n.º 3, pp. 1269-1284, 2022, doi: [10.1007/s00170-022-10208-0](https://doi.org/10.1007/s00170-022-10208-0).
- [19] L. J. Márquez *et al.*, "Measuring Impact of Lean Manufacturing Tools for Continuous Improvement on Economic Sustainability. *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*", vol. 33, n.º 4, pp. 452-474, 2024, doi: [10.1007/s11518-023-5588-2](https://doi.org/10.1007/s11518-023-5588-2).
- [20] J. A. Botín y M. A. Vergara, "A cost management model for economic sustainability and continuous improvement of mining operations", *Resour. Policy*, vol. 46, pp. 212-218, 2015.
- [21] A. P. Menon *et al.*, "Quality control tools and digitalization of real-time data in sustainable manufacturing", *Int J Interact Des Manuf*, pp. 1-13, 2022, doi: [10.1007/s12008-022-01054-1](https://doi.org/10.1007/s12008-022-01054-1).
- [22] D. Medyński *et al.*, "Digital standardization of lean manufacturing tools according to Industry 4.0 concept", *Appl. Sci.*, vol. 13, n.º 10, p. 6259, 2023, doi: [10.3390/app13106259](https://doi.org/10.3390/app13106259).
- [23] F. B. Yeni, B. Gürsoy, B. M. Kayhan y G. Özçelik, "Achieving tractable and reliable agriculture supply chain operations through Industry 4.0 tools to support Lean Six Sigma application", *Int. J. Ind. Eng. Oper. Manag.*, vol. 7, n.º 2, pp. 117-149, 2025, doi: [10.1108/IJIEOM-05-2024-0029](https://doi.org/10.1108/IJIEOM-05-2024-0029).
- [24] M. C. Zizic, M. Mladineo, N. Gjeldum y L. Celent, "From industry 4.0 towards industry 5.0: A review and analysis of paradigm shift for the people, organization and technology", *Energies*, vol. 15, n.º 14, p. 5221, 2022, doi: [10.3390/en15145221](https://doi.org/10.3390/en15145221).
- [25] B. S. Silvestre, M. E. Silva, A. Cormack y A. M. T. Thome, "Supply chain sustainability trajectories: learning through sustainability initiatives", *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 40, n.º 9, pp. 1301-1337, 2020, doi: [10.1108/IJOPM-01-2020-0043](https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2020-0043).
- [26] P. C. Berardi y R. P. de Brito, "Supply chain collaboration for a circular economy-From transition to continuous improvement", *J. Clean. Prod.*, vol. 328, p. 129511, 2021, doi: [10.1016/j.jclepro.2021.129511](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129511).
- [27] J. Frick, "Future of Industrial Asset Management: A Synergy of Digitalization, Digital Twins, Maintenance 5.0 / Quality 5.0, Industry 5.0 and ISO55000", *Int. J. Bus. Mark. Manag.*, vol. 8, n.º 4, pp. 93-99, 2023.
- [28] V. Barinua y S. Apochi, "Continuous improvement and competitive advantage: theoretical paper", *RJMP*, vol. 2, n.º 4, 7674, abr. 2022.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el financiamiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) para realizar este estudio con el programa de estancias posdoctorales.

Revisión sistemática de índices enfocados en el efecto de la migración en el desarrollo sostenible

Systematic review of migration factors that impact sustainable development

Gabriela Alvarez Vega¹ , Soledad Vianey Torres Argüelles¹ , Salvador Noriega Morales¹ , Aurora Irma Máynez Guaderrama¹ 

¹Doctorado en Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

La *migración* es un fenómeno que está impactando de manera global, específicamente en el *desarrollo sostenible*. A pesar de esto, la información contenida en la literatura no es suficiente para determinar la relación y el nivel de impacto que existe entre ambos aspectos. La presente investigación tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de literatura, basada en la metodología PRISMA y un análisis de redes bibliométricas por medio de VOSviewer, enfocadas en identificar los factores de la migración que tienen efecto en los Objetivos del Desarrollo Sostenible, tal como salud y bienestar, educación de calidad, trabajo decente y crecimiento económico y sus factores, incluyendo los criterios de elaboración de los índices y su confiabilidad. Todo esto para promover el desarrollo de estrategias adecuadas para disminuir el impacto negativo o convertirlo en uno positivo, así como asimilar a la migración a contribuir en el incremento de la calidad de vida de toda la sociedad.

PALABRAS CLAVE: migración; desarrollo sostenible; índice; sistema de medición.

ABSTRACT

Migration is a phenomenon that is impacting globally, specifically *sustainable development*. Despite this, the information contained in the literature is insufficient to determine the relationship and level of impact between both aspects. This research aims to conduct a systematic literature review, based on the PRISMA methodology and a bibliometric network analysis using VOSviewer, focused on identifying migration factors that impact the Sustainable Development Goals, such as health and well-being, quality education, decent work, and economic growth, as well as their factors, including the criteria for developing the indices and their reliability. All of this is intended to promote the development of appropriate strategies to reduce the negative impact or convert it into a positive one, as well as to assimilate migration into a contribution to improving the quality of life for society as a whole.

KEYWORDS: migration; sustainable development; index; measurement system.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Gabriela Alvarez Vega
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez / Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Ave. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: al237858@alumnos.uacj.mx

Fecha de recepción: 19 de junio de 2025. **Fecha de aceptación:** 10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2025.



I. INTRODUCCIÓN

La migración es el fenómeno que se define como el desplazamiento de un lugar a otro, en tres diferentes niveles: regional, nacional e internacional, y puede ser durante periodos cortos o indefinido. Esto ocasiona demanda de servicios, afectando tanto a los lugares de origen, como los de paso y destino de las personas migrantes.

La migración se relaciona con la búsqueda de una mejor calidad de vida y sucede a nivel global por diferentes razones, entre las que destacan la pobreza [1], [2], seguridad [3], [4], acceso a sistemas de salud [5], educación [6], [7], por problemas ambientales [8] y políticos [9], [10]. Plantea efectos diversos, afectando el desarrollo de los sectores económico, social y ambiental y ejerciendo presión en las políticas públicas.

A pesar del impacto que este suceso puede tener, se desconoce su nivel o si este es negativo o positivo. Esto hace necesario diseñar un sistema de medición encaminado a cuantificar el impacto migratorio en el desarrollo sostenible [8], [11], lo cual derive en el planteamiento de estrategias para hacer conciencia de las acciones de la población actual con el fin de que estas no afecten negativamente a las futuras generaciones [12].

Sin embargo, es necesario conocer los factores asociados al impacto de la población migrante sobre todos los entornos asociados (origen, paso y destino), pero, en la literatura, la información se encuentra dispersa, es decir, no se encontró un documento que determine dichos factores. Por tanto, es necesario realizar una revisión sistemática de literatura que asegure la identificación de los factores que expliquen el efecto de dicha población.

Con base en lo anterior, este trabajo reporta una revisión sistemática de literatura, apoyada en la metodología PRISMA, y un análisis bibliométrico de información contenida en artículos, realizado en VOSviewer, encaminado a identificar el impacto migratorio y su relación con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), tales como salud y bienestar, educación de calidad, trabajo decente y crecimiento económico y sus factores, incluyendo los criterios asociados.

A. METODOLOGÍA PRISMA

La metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 2020 es una

guía con pasos para obtener la evidencia necesaria en una revisión sistemática. Este recurso permite documentar con transparencia lo que otros autores ya hicieron y el porqué de sus documentos [13], [14].

B. VOSviewer

VOSviewer es un programa que sirve como herramienta para crear redes bibliométricas y poder visualizarlas de manera gráfica [15]. Estas, a su vez, permiten evaluar las relaciones entre autores, sus publicaciones, temas de interés y revistas. El análisis de ahí derivado tiene un enfoque cuantitativo y posibilita ver el dominio del conocimiento y ayuda a realizar un análisis cuantitativo de documentos científicos para estudiar el desarrollo, las tendencias, los autores, las relaciones y la estructura, entre otros aspectos [16].

II. METODOLOGÍA

Este estudio se basó en una comparación de revisiones sistemáticas de la literatura mediante la metodología PRISMA, lo cual aportó elementos prácticos para realizar un metaanálisis. A partir de este, se presenta un conjunto de pautas sustentado en las investigaciones de otros autores, que además se reforzó con un enfoque cuantitativo para facilitar la revisión integral.

La investigación se llevó a cabo en la serie de pasos que se menciona en la [Figura 1](#).

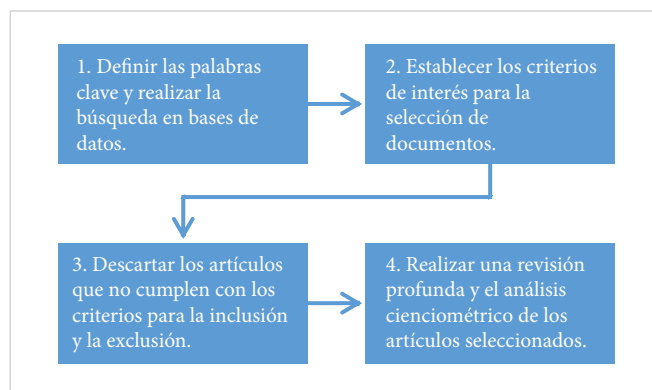


Figura 1. Pasos de la metodología.

Se analizaron dos casos diferentes, considerando los dos conceptos esenciales del estudio: *migración* y *sostenibilidad*. En la búsqueda de literatura para el primer término se consideraron los años 2023 y 2024, en bases de datos como Emerald y Taylor and Francis, y se utilizaron las palabras clave que se enlistan en la [Tabla 1](#), las

cuales fueron definidas con relación a los dos conceptos de interés de este estudio.

TABLA 1
PALABRAS CLAVES DEL CASO 1

CRITERIO	PALABRA CLAVE	
	INGLÉS	ESPAÑOL
Migración	<i>Migration</i>	Migración
	<i>Impact</i>	Impacto
	<i>Effect</i>	Efecto
	<i>Measurement</i>	Medición
	<i>Index</i>	Índice
Sostenibilidad	<i>Sustainability</i>	Sostenibilidad
	<i>Sustainable Development Goals</i>	Objetivos del Desarrollo Sostenible
	<i>Index</i>	Índice
	<i>Measurement</i>	Medición

Con el fin de cumplir con el segundo paso, se identificaron los criterios de inclusión y exclusión.

Los criterios de inclusión fueron: 1) artículos que incluyan índices y/o cuestionarios, 2) que hablen de los efectos de la migración en el desarrollo sostenible y 3) que se hayan publicado en 2023 y 2024.

Los criterios de exclusión fueron: 1) que se hayan publicado antes de 2023, 2) los que no hablen de los efectos de la migración en el desarrollo sostenible y 3) artículos duplicados.

Para el tercer paso se aplicó el primer filtro para descartar investigaciones de las bases de datos utilizadas, donde se consideran artículos con acceso libre al documento completo, 2023-2024, dentro de los cuales se obtuvieron 78 documentos no duplicados (Tabla 2).

TABLA 2
RESULTADO DE LA BÚSQUEDA DEL CASO 1

BASE DE DATOS	ARTÍCULOS		
	TOTAL	DE REVISIÓN	ACCESO LIBRE
Emerald	425	255	43
Taylor and Francis	99	77	35
Total	524	332	78

Adicionalmente, en una hoja de cálculo de Microsoft Excel se colocaron todos los artículos obtenidos, organizados por año de publicación, título del artículo, nombre del autor, y nombre de la editorial. En el tercer paso se descartaron los artículos que no cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión, donde en 78 de

ellos se revisó meticulosamente el título, asegurando que tenga relación con las palabras de la Tabla 1, y se eliminaron 76 por causa de este criterio.

Después de analizar el primer caso con la búsqueda por medio de la metodología PRISMA, mostrada en la Figura 2, los dos artículos restantes se eliminaron por el punto de exclusión: no tener relación directa con desarrollo sostenible.

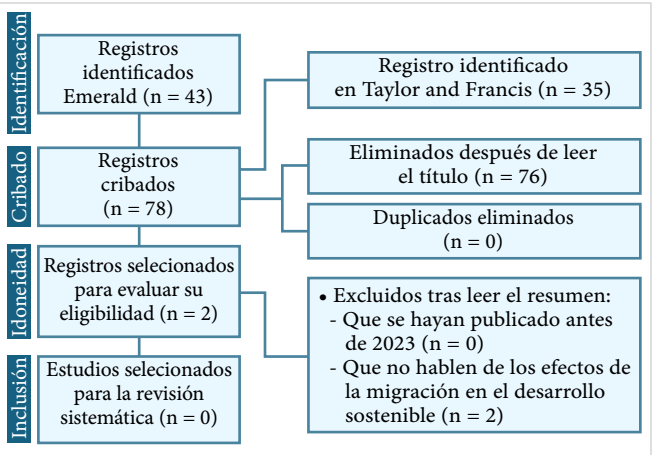


Figura 2. Metodología PRISMA, caso 1.

Posteriormente, se decidió evaluar los dos artículos restantes después de valorar los títulos, analizando las palabras clave y los resúmenes de estos, que tuvieran relación con las palabras clave de la Tabla 1. El primer artículo, escrito por Anton Ahlen [17], trata sobre una investigación de las variaciones de las políticas de inmigración familiar entre países. El resumen describe que se llevó a cabo una recolección de datos para la investigación, aunque ahí no se habla de migración, de una relación directa con desarrollo sostenible, sin embargo, tiene un vínculo indirecto con la política misma que corresponde a una dimensión del desarrollo sostenible, para la paz, justicia entre países y los procesos migratorios.

El segundo artículo, escrito por Crisan-Mitra y Martin-de Castro [18], es un modelo que, a partir de un índice aplicado a personas migrantes y refugiadas, permite predecir con qué tendencia los migrantes y refugiados emprenden nuevos negocios, sin embargo, igual que el artículo anterior, este no tiene una relación directa con desarrollo sostenible, pero sí con una de sus dimensiones, que es la económica, ya que hace referencia a la lucha que emprenden estas personas migrantes por salir adelante económicamente en los lugares de paso y destino.

Después de analizar los resúmenes y palabras clave de estos dos artículos, es posible confirmar lo antes mencionado: no existe en la literatura una relación directa en el impacto de la *migración* en *desarrollo sostenible*, lo que hizo necesario replantear la búsqueda, pero no la metodología mostrada en la [Figura 1](#), y poder identificar las dimensiones de *desarrollo sostenible* en las que afecta a *migración*, así que fue necesario hacer la búsqueda con las palabras clave que se mencionan en la [Tabla 2](#), dejando solo la sección de migración y alterando las palabras de búsqueda.

Asimismo, fue necesario replantear los criterios de inclusión y exclusión para este segundo caso, los cuales se mencionan a continuación.

Los criterios de inclusión fueron: 1) artículos que incluyan índices y cuestionarios, 2) que hablen de los efectos de la migración en alguna dimensión de desarrollo sostenible y 3) que se hayan publicado en 2023 y 2024.

Los criterios de exclusión fueron: 1) que se hayan publicado antes de 2023, b) los que no hablen de los efectos de la migración en alguna dimensión de desarrollo sostenible y 3) artículos duplicados.

TABLA 3
PALABRAS CLAVE PARA EL CASO 2

SECCIÓN	PALABRAS CLAVE	
	INGLÉS	ESPAÑOL
Migración	<i>Human migration</i>	Migración
	<i>Questionnaire</i>	Cuestionario
	<i>Survey</i>	Encuesta
	<i>Measurement</i>	Medición
	<i>Index</i>	Índice

Nuevamente para el caso 2, en el tercer paso se hizo el primer filtro para descartar investigaciones de las bases de datos utilizadas, donde se consideran artículos con acceso libre al documento completo, 2023-2024, obteniendo 679 ([Tabla 4](#)), no se obtuvieron duplicados.

TABLA 4
RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA PARA EL CASO 2

BASE DE DATOS	ARTÍCULOS		
	DE 2023 A 2024	DE REVISIÓN	ACCESO LIBRE
Emerald	371	257	24
Taylor and Francis	1752	1532	655
Total	2123	1789	679

En este paso se evaluaron minuciosamente los títulos de los artículos, donde se descartaron 614 porque no contienen información referente a los migrantes o refugiados, dejando 65 artículos que pertenecen a la base de datos Taylor and Francis. A partir de este punto se analizaron los 65 artículos como archivo .RIS, con el programa VOSViewer, con el fin de determinar la relación entre estos.

Después de analizar meticulosamente las palabras clave que tuvieran relación con las palabras clave seleccionadas en la [Tabla 2](#), no se descartó ningún documento por este criterio y, posteriormente, se analizaron meticulosamente los resúmenes, descartando 19 artículos por usar datos de fuentes diferentes a la investigación que los autores reportaban y 23 por no tener relación.

Entre los 23 estudios restantes, que sí están relacionados, se encuentra información relativa a índices y cuestionarios. Esto se decidió debido a que, a partir de los datos colectados con un cuestionario se puede generar un índice derivado de las variables que se miden de forma cualitativa. En la [Figura 3](#) se muestra la metodología PRISMA utilizada para el segundo caso. Adicionalmente, los 23 artículos obtenidos a partir de la aplicación de dicha metodología se analizaron por medio de VOSviewer.

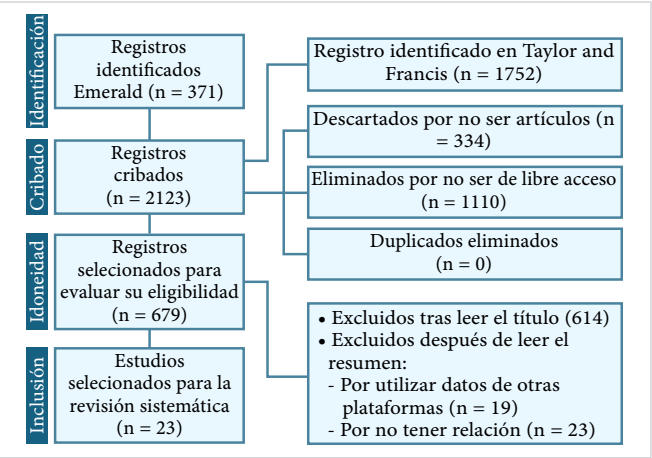


Figura 3. Metodología PRISMA, caso 2.

En el cuarto paso se llevó a cabo el análisis de contenido de los artículos, así como de los datos de coautoría, co-citación de documentos y co-ocurrencia de las palabras clave. Primeramente, se revisó y analizó la red de colaboración del autor, revelando la cantidad de documentos publicados por un mismo autor, así como la conexión y colaboración entre países, instituciones y revistas en las

que predominan las publicaciones. Asimismo, se analizaron los documentos citados repetidamente para determinar la mayor influencia, revelando los conceptos y palabras utilizadas con mayor frecuencia.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó, esta revisión sistemática de literatura se dividió en dos casos: el primero, con las palabras clave *migración, impacto, efecto, medición, índice, sostenibilidad y objetivos del desarrollo sostenible*, donde se obtuvieron 78 artículos de las dos bases de datos Taylor and Francis y Emerald y se eliminaron los 78 artículos, a partir de los criterios de exclusión, específicamente descartados porque el título no tenía relación con las palabras clave de los dos grupos, además de que abordaban los temas de migración y desarrollo sostenible por separado. Sin embargo, fue posible detectar que los artículos exclusivos de migración abordaban dimensiones de desarrollo sostenible indirectamente y así fue como surgió la segunda revisión sistemática que conforma este artículo.

En el segundo caso se utilizaron las palabras *migración, cuestionario, encuesta, medición e índice*, se obtuvo un total de 679 artículos de las dos bases de datos antes mencionadas y de esos 679 se descartaron 614 por el título.

Después de evaluar los títulos, se determinó que las dimensiones con mayor cantidad de información reportada son las de salud y social y cultural, con 18 artículos cada una, seguido de educación con 14, política con 6, educación con 5 y, por último, ambiental con 4 (Figura 4). Este análisis sirve para determinar cuáles de las dimensiones de *desarrollo sostenible* tienen relación o son impactadas por *migración*.

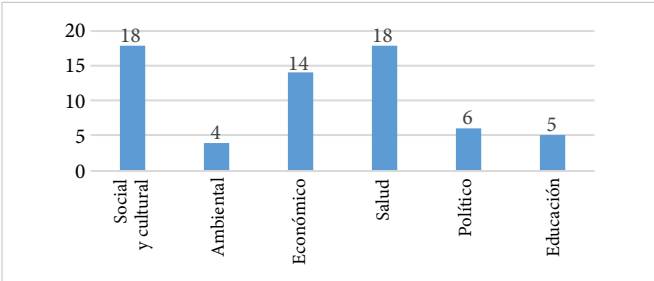


Figura 4. Dimensiones de desarrollo sostenible, después de analizar los artículos.

Previo a la evaluación de los artículos, se realizó un análisis de las revistas en las que fueron publicados los 65 artículos, donde destaca *J Ethn Migr Stud* con 13 artí-

culos, seguida por *Eur J Psychotraumatol* con 5, *Cogent Soc. Sci.* y *Glob. Public Health* con 3 cada una, *Reg. Stud. Reg. Sci.* y *Psychol. Res. Behav. Manag.* con 2 cada una y el resto solo cuentan con 1 artículo (Tabla 5).

TABLA 5
REVISTAS Y NÚMERO DE ARTÍCULOS RESCATADOS

REVISTAS	ARTÍCULO
Annals of GIS	1
Appl. Artif. Intell.	1
Chin. Sociol. Rev.	1
Can. J. Pain	1
Cogent Econ. Financ.	1
Cogent Food Agric	1
Cogent Bus. Manag.	1
Cogent Soc. Sci.	3
Ecosyst. People	1
Econ. Res.-Ekon. Istraz.	1
Cogent Soc. Sci.	1
Cult Health Sex	1
Environ. Hazards	1
Eur J Psychotraumatol	5
Environ. Sociol.	1
European Societies	1
Eur. J. Soc. Work	1
Gend. Place Cult.	1
Glob. Public Health	3
Glob. Health Action	1
History Australia	1
Hum Vaccin Immunother	1
Int. J. Biling. Educ. Biling.	1
Hous Theory Soc	1
J Ethn Migr Stud	13
J Loss Trauma	1
J. East. Afr. Stud.	1
J. Comp. Policy Anal.: Res. Pract.	1
J. Fam. Stud.	1
J. Immigr. Refug. Stud.	1
J. China Tour. Res.	1
J. Adventure Educ. Outdoor Learn.	1
Reg. Stud. Reg. Sci.	2
Scand J Prim Health Care	1
Ocul Immunol Inflamm	1
Nord. Psychol.	1
Textual Practice	1
Risk Manag Healthc Policy	1
Psychol. Res. Behav. Manag.	2
Terrorism and Political Violence	1
Self and Identity	1
Patient Prefer Adherence	1
Post-Soviet Affairs	1

Posteriormente, a estos 65 artículos se les realizó un análisis cuantitativo en VOSviewer. En primer término, se hizo un análisis de co-autoría, destacando las relaciones entre autores, las cuales se reportan de forma visual en la Figura 5, donde se observa que son varias las relaciones que se muestran en la red, las cuales no consideran a todos los autores, sino solo a los de mayor relación. Asimismo, se hizo un análisis de co-ocurrencia de palabras, mostrado en la Figura 6, donde destacan

las palabras *migración*, *migrantes*, *refugiados*, *migración interna*, *migración internacional* e *inmigrantes*.

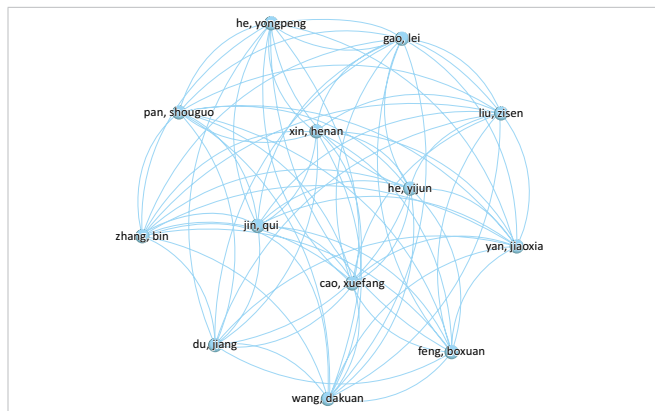


Figura 5. Análisis bibliométrico de co-autoría de 65 artículos.

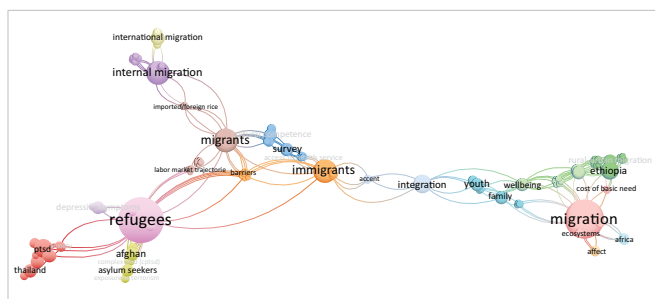


Figura 6. Análisis bibliométrico de concurrencia de 65 artículos.

Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, quedaron solo 23 artículos, dentro de los cuales se realizó un análisis de las dimensiones que abordan, en las que destaca la social y cultural con 8 artículos, 7 son de la económica, 4 de la de salud, 2 de la ambiental, 1 para la de educación y 1 para la política (Figura 7).

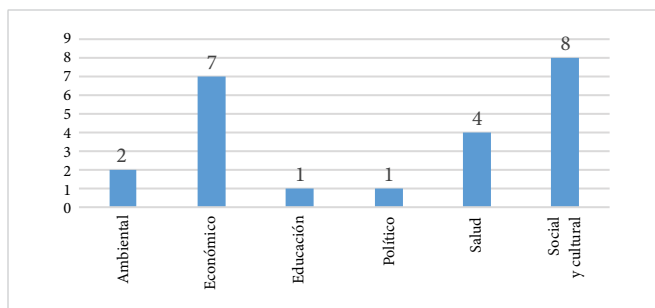


Figura 7. Dimensiones de desarrollo sostenible después de analizar los 23 artículos.

Las revistas con artículos relacionados con los conceptos esenciales de este estudio se muestran en la [Tabla 6](#), destacando *J Ethn Migr Stud*, y la mayoría del resto de ellas solo contaban con un artículo.

TABLA 6
REVISTAS QUE PUBLICARON LOS 23 ARTÍCULOS

REVISTAS	ARTÍCULO
<i>Cogent Bus. Manag.</i>	1
<i>Cogent Econ. Financ.</i>	1
<i>Cogent Soc. Sci.</i>	2
<i>Ecosyst. People</i>	1
<i>Environ. Hazards</i>	1
<i>Eur J Psychotraumatol</i>	2
<i>Gend. Place Cult.</i>	1
<i>Hum Vaccin Immunother</i>	1
<i>J. Adventure Educ. Outdoor Learn.</i>	1
<i>J. China Tour. Res.</i>	1
<i>J. East. Afr. Stud.</i>	1
<i>J Ethn Migr Stud</i>	6
<i>Psychol. Res. Behav. Manag.</i>	1
<i>Reg. Stud. Reg. Sci.</i>	1
<i>Risk Manag Healthc Policy</i>	1
<i>Terrorism and Political Violence</i>	1

En la [Figura 8](#) se muestra el análisis bibliométrico de los 23 artículos que se eligieron, a partir de los cuales se generó una red de correlación de autoría. Ahí se observa la relación entre autores, principalmente 7, quienes tiene publicaciones relacionadas con el tema de este estudio. Asimismo, en la [Figura 9](#) se presenta el análisis bibliométrico de co-ocurrencias de palabras, donde se destacan *migración* y *desarrollo sostenible*.

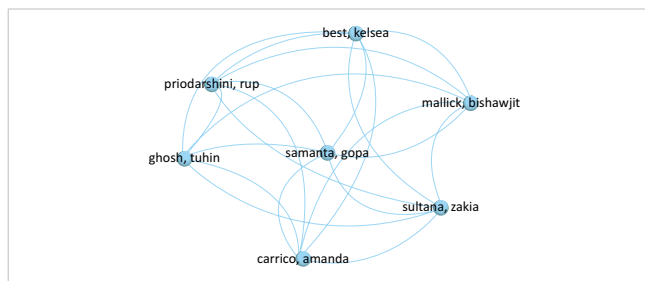


Figura 8. Análisis bibliométrico de co-autoría de 23 artículos.

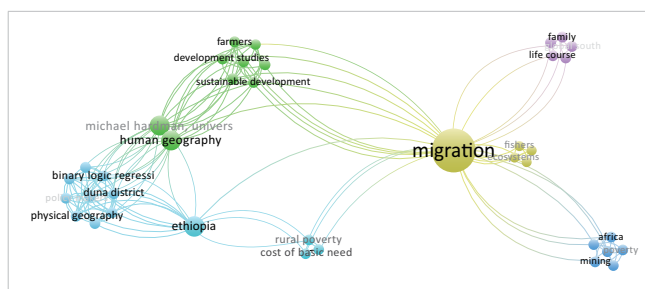


Figura 9. Análisis bibliométrico de concurrencia de 23 artículos.

Por último, en la [Tabla 7](#) se presenta el análisis de los 23 artículos que, en términos generales, muestra la relación entre los estudios revisados y las dimensiones y objetivos del desarrollo sostenible. En el caso de la salud, los estudios están enfocados en la recepción de los

tratamientos necesarios en beneficio de los migrantes. Los datos reportados indican que factores como el desconocimiento impactan en el acceso a tratamientos o al hecho de que la migración impide a los pacientes continuar con estos.

Los estudios relacionados con migración y salud están enfocados en la salud emocional y mental que es afectada por los motivos que provocaron la migración, así como los efectos que la migración tiene sobre las decisiones que toman las personas en movilidad. En algunos de estos estudios se identifica una relación de la salud y las políticas de los países de alojamiento de los migrantes, junto con la cultura antiinmigrante de la población de los lugares de destino. También, las políticas económicas de los países de origen de los migrantes juegan un papel esencial en este fenómeno. La dimensión económica y la migración se relacionan con la necesidad del incremento

de los ingresos y, por ende, la calidad de vida. Sin embargo, también está asociada a factores ambientales, tales como la reducción de la capacidad de los ecosistemas de ofrecer recursos a los habitantes de una región.

Con relación a la dimensión social y cultural, los factores que propician o disminuyen la migración son la identidad o la influencia de la familia. También, las familias con hogares cerca o en medio de la naturaleza generan un sentimiento o necesidad de quedarse por encima de la idea de migrar. En general, los estudios reportan factores que pueden contribuir al aumento de la migración, entre los que destacan la seguridad/inseguridad, condiciones laborales o la falta de lugares de trabajo que aseguren el bienestar económico de las familias, en términos ambientales la migración está asociada a los desastres naturales y a la pérdida o desgaste de los ecosistemas que impide su desarrollo económico.

TABLA 7
ANÁLISIS DE LOS ARTÍCULOS

REF.	DIMENSIÓN	CONTENIDO
[19]	Salud	Estudia la aceptación de la vacuna contra el virus del papiloma humano entre inmigrantes, determinando que el desconocimiento al respecto de la vacuna en una de las barreras que más impiden su aplicación, seguida de la falta de servicios médicos.
[20]	Salud	China tiene la segunda mayor carga de TB del mundo y, al mismo tiempo, reporta una migración interna a gran escala. Este estudio explora el efecto de los migrantes en la falta de adherencia al tratamiento de la TB-MDR. Los resultados indican que existe un aumento significativo de la probabilidad de no adherencia al tratamiento entre los migrantes y señala a la migración como factor que impide el acceso a seguro médico social afectando la adherencia al tratamiento.
[21]	Salud	El trayecto de los migrantes es un factor que afecta su salud mental, en particular las experiencias estresantes y traumáticas a las que son expuestos durante el tránsito a su destino. Este estudio reporta que los migrantes viven situaciones estresantes y traumáticas, generando depresión, ansiedad y trastorno de estrés postraumático, mostrando la necesidad de protección y apoyo adecuado a los migrantes.
[22]	Salud	A nivel global, algunos jóvenes sufren de síntomas depresivos, especialmente los migrantes. Este estudio reporta la relación entre factores estresantes, autoestima y síntomas depresivos. Se encontró que el 47.9 % de los jóvenes trabajadores migrantes presentan síntomas depresivos, siendo el lugar de trabajo, la seguridad y la vida cotidiana los factores que aumentaron significativamente estos síntomas.
[23]	Social y cultural	Este estudio reporta los factores que propician la migración de población rural a urbana, siendo la edad, nivel educativo, tendencia de la tierra, infertilidad de suelos, y las distancias a la ciudad. Asimismo, la inestabilidad económica es un factor que propicia la migración. Este estudio busca plantear estrategias políticas en comunidades rurales para reducir la migración.
[24]	Social y cultural	Este estudio realizado en Tailandia evalúa: 1) impactos a largo plazo en las actividades laborales, el matrimonio y la maternidad de los adultos jóvenes por la migración de los padres y 2) la variación de dichos impactos en función de cuál padre migró y el nivel de migración: nacional o internacional. Se encontró que la migración materna/biparental, en comparación con la paterna, afecta significativamente las actividades laborales y la edad al contraer matrimonio de los jóvenes; además, los efectos son más pronunciados en hombres que en mujeres.
[25]	Social y cultural	La identidad social de los residentes de aldeas migratorias impacta en la participación comunitaria en el turismo en la nueva aldea de simita en China. Los hallazgos muestran que la identidad comunitaria, regional y ocupacional de los residentes tienen un impacto positivo en su actitud hacia el apoyo al turismo y la participación comunitaria.
[26]	Social y cultural	Esta investigación realizada en Noruega explora la relación de vivir cerca de la naturaleza y la comodidad de permanecer ahí, analizando los datos con regresión múltiple jerárquica de 35 005 residentes. Los resultados arrojaron que vivir cerca de espacios naturales contribuye significativamente a la permanencia de las personas en un lugar.
[27]	Social y cultural	El artículo examina a la migración <i>queer</i> en Brasil, enfocándose en cómo la sexualidad influye en las decisiones migratorias de personas LGB en ciudades pequeñas y medianas. Se identificaron factores como la proximidad familiar, la educación y la estabilidad financiera, con influencia en la decisión de migrar, quedarse o regresar a su lugar de origen, subrayando la influencia de la familia en estas decisiones.

TABLA 7 (CONT.)
ANÁLISIS DE LOS ARTÍCULOS

REF.	DIMENSIÓN	CONTENIDO
[28]	Social y cultural	Las características de los inmigrantes influyen en las actitudes antiinmigrantes en Israel, encontrando que los árabes son más favorables a los inmigrantes que los judíos. La religión es la característica más determinante. Se concluye que las actitudes están más ligadas a la homogeneidad étnica y cultural que a la competencia económica.
[29]	Social y cultural	Este estudio examina cómo el acento extranjero afecta la integración laboral de inmigrantes, revelando que quienes tienen un acento más fuerte suelen ocupar trabajos donde las habilidades lingüísticas son menos importantes. Esto sugiere autoselección hacia campos adecuados, sin evidencias de discriminación estadística en las percepciones de los empleadores.
[30]	Social y cultural	La mayoría de los solicitantes de asilo y refugiados afganos en Austria llegan desde Afganistán, Irán y Pakistán. Estos reportan eventos traumáticos relacionados con la guerra y experiencias discriminatorias en los países anfitriones. Esto tiene efectos en la salud mental de esta población, mostrando que hay factores posteriores a la migración. Las condiciones ambientales previas a la migración y la asociación con diferentes factores de riesgo sociodemográficos relacionados con la migración forzada, tienen efectos en la salud mental.
[31]	Económico	Este estudio examinó el impacto de la emigración rural en la pobreza, recopilando datos de 415 hogares y revelando que la pobreza es un factor que impulsa la migración, siendo este uno de los factores principales. A su vez, las personas migrantes apoyan a las comunidades de origen enviando remesas, mismas que favorecen a la población.
[32]	Económico	Este estudio estima el efecto de la inmigración y emigración interna en los ingresos de las personas que no se mudan. Los inmigrantes tienen un efecto negativo inmediato en los ingresos locales de los no inmigrantes. La inmigración se correlaciona positivamente con el crecimiento de los ingresos de los migrantes. La movilidad laboral puede utilizarse como herramienta para incentivar el crecimiento local, aunque con costos de ajuste significativos.
[33]	Económico	Con la aplicación de una encuesta en línea a 551 migrantes, se determinaron los factores que inspiran a quedarse y mudarse en Turquía. Se reporta que las oportunidades de empleo afectan la decisión de migrar o quedarse en el lugar de origen.
[34]	Económico	El impacto del auge de precios de minerales en el noroeste de Tanzania (2002-2012) propicia la inmigración de mineros generando asentamientos diversos. Con la aplicación de un índice de bienestar, se identifican mejoras modestas, a la vez que una gran desigualdad, hogares más educados y con mejores condiciones, mientras que los hogares encabezados por mujeres solas reportan severas desventajas.
[35]	Económico	El estudio investiga las diferencias entre jubilados holandeses migrantes y no migrantes. Se encontró que tener pareja y un estatus ocupacional más alto aumenta la probabilidad de migrar. Los migrantes tienden a ser más aventureros y posmaterialistas. Por otro lado, tener más lazos sociales reduce la probabilidad de migración, destacando la complejidad de los factores que influyen en esta decisión a edades avanzadas.
[36]	Económico	El objetivo de este estudio es investigar los efectos directos e indirectos de los factores económicos, políticos y sociales del país de origen sobre la intención de médicos de Irak de migrar. Se reporta que existe un efecto psicológico que atribuye a la migración de los médicos, seguido de una inestabilidad económica y la corrupción causada por la inestabilidad política.
[37]	Económico	Este estudio reporta que la migración en Nepal esta relacionada con la inestabilidad laboral. A partir de los resultados, se proponen estrategias laborales para reducir la migración por estas causas.
[38]	Educación	Este estudio señala que existe desigualdad de desarrollo entre zonas rurales y urbanas, mientras que la migración interna contribuye al bienestar humano. La seguridad alimentaria aumentó a 34.4 % después de la migración, junto con el aumento significativo en ingresos, gastos y ahorros, aumentando la capacidad de adquirir una vivienda. Asimismo, la migración interna en Ghana ha tenido un impacto positivo en las condiciones sanitarias, económicas y sociales de los migrantes.
[39]	Político	Este estudio plantea que la exposición al terrorismo afecta las actitudes hacia la política de inmigración, y el impacto de la sensación de amenaza en estas actitudes. El análisis de la intensidad de la exposición al terrorismo es más intensa o menos intensa. Junto con las diferencias en la medida de los niveles de proximidad geográfica a los ataques (alta/baja), se reporta que en tiempos de ataques terroristas intensos, los niveles de exposición altos afectan las percepciones de las personas sobre las amenazas relacionadas con el conflicto, lo que genera la necesidad de apoyo a políticas migratorias excluyentes. Estos hallazgos mejoran la comprensión de los efectos indirectos del terrorismo en la opinión pública sobre los migrantes que no están involucrados en el conflicto que provoca los ataques terroristas.
[40]	Ambiental	La migración es una estrategia de subsistencia ante efectos que puede causar el cambio climático o por amenazas ambientales, dependiendo del tipo, gravedad y frecuencia de ocurrencia de estos eventos. Los resultados reportan que por causas mínimas ambientales las personas consideran migrar, sin embargo, si se sienten apoyados económicamente en estas situaciones disminuye el interés de migrar. Estos datos difieren según la educación, la religión y la edad.
[41]	Ambiental	La migración se ha convertido en una estrategia importante de subsistencia. Los estuarios y costas desempeñan un papel central para el asentamiento humano. Sin embargo, están afectadas por factores como la reducción de las poblaciones de peces y la degradación ambiental. Esto genera un cambio en los patrones de migración de los pescadores. Por lo que, el acceso a los recursos es un factor determinante para su establecimiento. La comprensión de los patrones migratorios de los pescadores es necesaria para gestionar los ecosistemas costeros, influyendo de manera significativa en el logro del ODS 10.7.

IV. CONCLUSIONES

La revisión sistemática permite analizar la bibliografía existente y con ello determinar los factores que pueden tener efectos en el comportamiento de un sistema, contribuyendo al desarrollo de futuras investigaciones, como lo es la elaboración de un sistema de medición.

En la revisión sistemática de literatura presentada en este documento se llevaron a cabo dos diferentes búsquedas, la segunda como consecuencia de la primera, la cual, después de la aplicación de la metodología PRISMA, se consideró fallida, a partir de la determinación de que *migración y desarrollo sostenible* no es clara en los artículos analizados.

Con base en el primer resultado, se planteó una segunda búsqueda a partir de otras palabras clave, que fueron *migración, cuestionario, encuesta, medición e índice*.

Los resultados indican que las dimensiones de desarrollo sostenible que se relacionan con la migración son particularmente política, salud, ambiental, económica, social y cultural, observándose un mayor impacto en el desarrollo social correlacionado con las dimensiones económica y ambiental, que influyen a su vez en la dimensión política.

REFERENCIAS

- [1] T. Sitompul, “Economic and Social Impact of Migration”, *Journal of Accounting and Management Innovation*, vol. 7, n.º 1, pp. 1-15, en. 2023.
- [2] A. Kwilinski, O. Lyulyov, T. Pimonenko, H. Dzwigol, R. Abazov y D. Pudryk, “International Migration Drivers: Economic, Environmental, Social, and Political Effects”, *Sustainability*, vol. 14, n.º 11, jun. 2022, doi: [10.3390/su14116413](https://doi.org/10.3390/su14116413).
- [3] B. Turam, “The geopolitics of fear: Pro-refugee resistance to Europe’s racial security”, *Polit Geogr*, vol. 109, p. 103047, mar. 2024, doi: [10.1016/J.POLGEO.2023.103047](https://doi.org/10.1016/J.POLGEO.2023.103047).
- [4] S. R. Castillo, “Implementación de un sistema de control de inventarios en una empresa comercializadora”, tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo, 2019.
- [5] W. Ben Arfi, I. Ben Nasr, T. Khvatova y Y. Ben Zaied, “Understanding Acceptance of eHealthcare by IoT Natives and IoT Immigrants: An Integrated Model of UTAUT, Perceived Risk, and Financial Cost”, *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 163, p. 120437, 2021, doi: [10.1016/j.techfore.2020.120437](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120437).
- [6] T. Kloubert y C. Hoggan, “Migrants and the Labor Market: The Role and Tasks of Adult Education”, *Adult Learning*, vol. 32, n.º 1, pp. 29-39, feb. 2021, doi: [10.1177/1045159520977713](https://doi.org/10.1177/1045159520977713).
- [7] M. Urbański, “Comparing Push and Pull Factors Affecting Migration”, *Economies*, vol. 10, n.º 1, en. 2022, doi: [10.3390/economies10010021](https://doi.org/10.3390/economies10010021).
- [8] *Índice Multidimensional de Integración Socioeconómica de la población migrante venezolana en Colombia (IMI)*. Departamento de Planeación Nacional, Colombia, 2022. [En línea]. Disponible: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Indice_Multidimensional_de_Integracion.pdf. Accedido: oct. 20, 2024.
- [9] A. Alesina y M. Tabellini, “The Political Effects of Immigration: Culture or Economics?”, *J Econ Lit*, vol. 62, n.º 1, pp. 5-46, mar. 2024, doi: [10.1257/JEL.20221643](https://doi.org/10.1257/JEL.20221643).
- [10] M. van Hoof, C. S. Meppelink, J. Moeller y D. Trilling, “Searching differently? How political attitudes impact search queries about political issues”, *New Media Soc*, vol. 26, n.º 7, pp. 3728-3750, jul. 2024, doi: [10.1177/14614448221104405](https://doi.org/10.1177/14614448221104405).
- [11] D. Vargas, “Diseño e implementación de un decodificador para la señal multifrecuencia de tono dual (DTMF)”, tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, 2017.
- [12] R. Bali Swain y F. Yang-Wallentin, “Achieving sustainable development goals: predicaments and strategies”, *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, vol. 27, n.º 2, pp. 96-106, feb. 2020, doi: [10.1080/13504509.2019.1692316](https://doi.org/10.1080/13504509.2019.1692316).
- [13] M. J. Page et al., “Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas”, *Rev Esp Cardiol*, vol. 74, n.º 9, pp. 790-799, sept. 2021, doi: [10.1016/J.RECESP.2021.06.016](https://doi.org/10.1016/J.RECESP.2021.06.016).
- [14] “Método PRISMA: qué es y cómo usarlo en una revisión sistemática”. TesisDoctoralesOnline. Accedido: oct. 20, 2024. [En línea]. Disponible: <https://tesisdoctoralesonline>.

[com/metodo-prisma-que-es-y-como-usarlo-en-una-revision-sistemica/](https://doi.org/10.20983/culcyt.2025.2.3e.1)

- [15] E. Orduña-Malea y R. Costas, “Link-based approach to study scientific software usage: the case of VOSviewer”, *Scientometrics*, vol. 126, n.º 9, pp. 8153-8186, sept. 2021, doi: [10.1007/s11192-021-04082-y](https://doi.org/10.1007/s11192-021-04082-y).
- [16] O. T. Oladinrin, M. Arif, M. Q. Rana y L. Gyoh, “Interrelations between construction ethics and innovation: a bibliometric analysis using VOSviewer”, *Constr. Innov.*, vol. 23, n.º 3, pp. 505-523, abr. 2023, doi: [10.1108/CI-07-2021-0130/FULL/XML](https://doi.org/10.1108/CI-07-2021-0130/FULL/XML).
- [17] A. Ahlén, “A progressive dilemma? Investigating cross-country variations in family-immigration policies through the lens of welfare-state regimes”, *Political Res. Exch.*, vol. 5, n.º 1, dic. 2023, doi: [10.1080/2474736X.2023.2249976](https://doi.org/10.1080/2474736X.2023.2249976).
- [18] C. Crisan-Mitra y G. Martín-de Castro, “Asymmetric modelling predicting migrants versus refugees starting new ventures”, *J. Ethics Entrep. Technol.*, vol. 3, n.º 2, pp. 111-126, dic. 2023, doi: [10.1108/JEET-07-2023-0012](https://doi.org/10.1108/JEET-07-2023-0012).
- [19] A. Khan, S. Abonyi, C. Neudorf, S. Galea y S. Ahmed, “Barriers to and facilitators of human papillomavirus vaccination in an ethnically diverse group of migrant parents: A qualitative mixed methods study”, *Hum Vaccin Immunother.*, vol. 19, n.º 3, 2023, doi: [10.1080/21645515.2023.2269721](https://doi.org/10.1080/21645515.2023.2269721).
- [20] K. Lin y L. Xiang, “Factors Associated with Non-Adherence to Treatment Among Migrants with MDR-TB in Wuhan, China: A Cross-Sectional Study”, *Risk Manag Healthc Policy*, vol. 17, pp. 727-737, 2024, doi: [10.2147/RMHP.S448706](https://doi.org/10.2147/RMHP.S448706).
- [21] M. Vukčević, A. Bobić y M. Živanović, “The effects of traumatic experiences during transit and pushback on the mental health of refugees, asylum seekers, and migrants”, *Eur J Psychotraumatol*, vol. 14, n.º 1, 2023, doi: [10.1080/20008066.2022.2163064](https://doi.org/10.1080/20008066.2022.2163064).
- [22] N. Win, N. Hounnaklang, P. Tantirattanakulchai y A. Panza, “The Impact of Stressors on Depressive Symptoms Among Youth Myanmar Migrant Workers in Thailand: A Cross-Sectional Study”, *Psychol. Res. Behav. Manag.*, vol. 17, pp. 2653-2663, 2024, doi: [10.2147/PRBM.S465535](https://doi.org/10.2147/PRBM.S465535).
- [23] N. Tamirat, S. Tadele y W. Assefa, “Determinants of rural-urban migration in Duna district, Southern Ethiopia”, *Cogent Soc. Sci.*, vol. 10, n.º 1, 2024, doi: [10.1080/23311886.2024.2307175](https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2307175).
- [24] Y. Fu, A. Jampaklay, C. Chow y L. P. Jordan, “Gendered outcomes of parental migration on Thai youth’s transitions to adulthood: a longitudinal perspective”, *J Ethn Migr Stud*, vol. 50, n.º 16, pp. 4135-4159, 2024, doi: [10.1080/1369183X.2024.2328578](https://doi.org/10.1080/1369183X.2024.2328578).
- [25] Y. Qin, J. N. Albrecht y L. Tao, “The Effects of Migratory Village Residents’ Social Identity on Community Participation in Tourism”, *J. China Tour. Res.*, 2024, doi: [10.1080/19388160.2024.2302562](https://doi.org/10.1080/19388160.2024.2302562).
- [26] R. Grau-Ruiz y H. S. Løvoll, “Nearby nature and well-being: an examination of place-belongingness and meaning in life among native and migrant residents in Norway”, *J. Adventure Educ. Outdoor Learn.*, 2024, doi: [10.1080/14729679.2024.2412081](https://doi.org/10.1080/14729679.2024.2412081).
- [27] F. Fortes de Lena, ““Their opinion counts as far as you let it”- understanding queer migration in Minas Gerais, Brazil”, *Gend. Place Cult.*, 2023, doi: [10.1080/0966369X.2023.2298790](https://doi.org/10.1080/0966369X.2023.2298790).
- [28] M. Semyonov, R. Raijman, A. Gorodzeisky y T. Hinz, “The impact of immigrants’ characteristics on anti-immigrant sentiment among the Jewish majority and the Arab minority in Israel”, *J Ethn Migr Stud*, vol. 49, n.º 17, pp. 4266-4287, 2023, doi: [10.1080/1369183X.2023.2172716](https://doi.org/10.1080/1369183X.2023.2172716).
- [29] J. Dollmann, I. Kogan y M. Weißmann, “When your accent betrays you: the role of foreign accents in school-to-work transition of ethnic minority youth in Germany”, *J Ethn Migr Stud*, vol. 50, n.º 12, pp. 2943-2986, 2024, doi: [10.1080/1369183X.2024.2305278](https://doi.org/10.1080/1369183X.2024.2305278).
- [30] P. Andisha, M. J. Shahab y B. Lueger-Schuster, “Translation and validation of the Dari International Trauma Questionnaire (ITQ) in Afghan asylum seekers and refugees”, *Eur J Psychotraumatol*, vol. 14, n.º 1, p. 2158428, 2023, doi: [10.1080/20008066.2022.2158428](https://doi.org/10.1080/20008066.2022.2158428).
- [31] F. Eshetu, J. Haji, M. Ketema y A. Mehare, “Impact of rural out-migration on poverty of households in southern Ethiopia”, *Cogent Econ. Financ.*, vol. 11, n.º 1, 2023, doi: [10.1080/23322039.2023.2169996](https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2169996).

- [32] C. Ioramashvili, "It's not me, it's you: internal migration and local wages in Great Britain", *Reg. Stud. Reg. Sci.*, vol. 10, n.º 1, pp. 876-888, 2023, doi: [10.1080/21681376.2023.2276216](https://doi.org/10.1080/21681376.2023.2276216).
- [33] E. Kiriscioglu, A. Üstübici y E. Elçi, "Migration aspirations in relation to border closures, employment opportunities and risk-taking attitudes: lessons from an online survey experiment", *J Ethn Migr Stud*, vol. 50, n.º 18, pp. 4395-4416, 2024, doi: [10.1080/1369183X.2024.2383713](https://doi.org/10.1080/1369183X.2024.2383713).
- [34] D. F. Bryceson, J. B. Jønsson y M. C. Shand, "Wealth and poverty in mining Africa: migration, settlement and occupational change in Tanzania during the global mineral boom, 2002–2012", *J. East. Afr. Stud.*, vol. 17, n.º 3, pp. 489-514, 2023, doi: [10.1080/17531055.2023.2265726](https://doi.org/10.1080/17531055.2023.2265726).
- [35] E. B. Savaş, K. Henkens y M. Kalmijn, "Who is aging out of place? The role of migrant selectivity in international retirement migration", *J Ethn Migr Stud*, vol. 50, n.º 2, pp. 461-482, 2024, doi: [10.1080/1369183X.2023.2252993](https://doi.org/10.1080/1369183X.2023.2252993).
- [36] Y. Mousa y S. Sri, "Home country economic, political, social push factors and intention to migrate in Iraq: psychological distress as mediator", *Cogent Bus. Manag.*, vol. 11, n.º 1, 2024, doi: [10.1080/23311975.2023.2299507](https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2299507).
- [37] D. B. Thapa, R. Pandit y M. F. Rola-Rubzen, "Drivers of overseas labour migration, migration intensity, and destination choice among farming households in Nepal", *J Ethn Migr Stud*, 2024, doi: [10.1080/1369183X.2024.2373311](https://doi.org/10.1080/1369183X.2024.2373311).
- [38] K. Kaunza-Nu-Dem, P. Nayaga y P. Aniah, "Migration and well-being: an impact study of migrant cashew farmers in the Bono East Region of Ghana", *Cogent Soc. Sci.*, vol. 10, n.º 1, 2024, doi: [10.1080/23311886.2024.2354966](https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2354966).
- [39] K. L. G. Snider, A. Hefetz y D. Canetti, "Terrorized by Immigration? Threat Perceptions and Policy Preferences", *Terrorism and Political Violence*, vol. 36, n.º 4, pp. 552-566, 2024, doi: [10.1080/09546553.2023.2180287](https://doi.org/10.1080/09546553.2023.2180287).
- [40] B. Mallick et al., "How do migration decisions and drivers differ against extreme environmental events?", *Environ. Hazards*, vol. 22, n.º 5, pp. 475-497, 2023, doi: [10.1080/17477891.2023.2195152](https://doi.org/10.1080/17477891.2023.2195152).
- [41] C. Kutir, S. K. M. Agblorti y B. B. Campion, "The contribution of estuarine ecosystems to fishers' migration patterns and livelihood adaptation along Ghana's coast", *Ecosyst. People*, vol. 20, n.º 1, 2024, doi: [10.1080/26395916.2024.2344848](https://doi.org/10.1080/26395916.2024.2344848).

Sistema IoT de monitoreo y control inteligente para cama de cría de lombriz californiana

IoT system for intelligent monitoring and control of Californian worm breeding beds

Diana Alejandra Ortega Castillo¹ , Israel Ulises Ponce Monarrez¹ 

¹Maestría en Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es desarrollar un sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo y control en tiempo real de variables climatológicas clave, como la temperatura y la humedad, en una cama de lombriz californiana (*Eisenia fetida*). Este sistema está diseñado para mantener la salud de la colonia de lombrices, mejorando las condiciones de cría y maximizando la producción de humus sólido y lixiviado. Se pretende que el sistema IoT propuesto permita un control remoto eficiente, monitoreando las condiciones de la cama de cría y ajustando las variables para prevenir escenarios desfavorables para la salud de las lombrices. Con la incorporación de sensores IoT y un diseño estructural, que incluye mecanismos de aireación y recolección de lixiviados, se busca garantizar un monitoreo y control óptimos para asegurar la producción continua de vermicomposta de alta calidad. Como resultados preliminares, se ha logrado la construcción de la caja de cría, la selección adecuada de los sensores y la validación del sistema mediante pruebas de medición de temperatura y humedad. Actualmente, el siguiente paso consiste en integrar todos los componentes y realizar ensayos con las lombrices, con el fin de evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales de operación.

PALABRAS CLAVE: sistema IoT; monitoreo y control; vermicomposta; lombriz californiana.

ABSTRACT

The objective of this research is to develop an Internet of Things (IoT)-based system for real-time monitoring and control of key climatological variables, such as temperature and humidity, in a California worm bed (*Eisenia fetida*). This system is designed to maintain the health of the worm colony, improving breeding conditions and maximizing the production of solid humus and leachate. The proposed IoT system is intended to enable efficient remote control, monitoring the conditions of the breeding bed and adjusting variables to prevent unfavorable scenarios for worm health. By incorporating IoT sensors and a structural design, which includes aeration and leachate collection mechanisms, optimal monitoring and control are sought to ensure the continuous production of high-quality vermicompost. Preliminary results include the construction of the breeding box, the appropriate selection of sensors, and the validation of the system through temperature and humidity measurement tests. Currently, the next step is to integrate all the components and conduct tests with worms to evaluate the system's performance under real-life operating conditions.

KEYWORDS: IoT system; monitoring and control; vermicompost; earth worm.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Diana Alejandra Ortega Castillo
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Av. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero,
C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: al237868@alumnos.uacj.mx

Fecha de recepción: 3 de junio de 2025. **Fecha de aceptación:**
10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de
2025.



I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la cría de lombriz californiana (*Eisenia fétida*), conocida por su capacidad de convertir desechos orgánicos en vermicomposta de alta calidad, ha ganado importancia en la agricultura urbana y en la gestión de residuos sólidos urbanos [1], [2], [3]. Para que las lombrices prosperen y puedan producir el abono requerido, es fundamental que el entorno en el que se encuentran permanezca bajo condiciones ambientales adecuadas, particularmente en cuanto a temperatura y humedad. Las lombrices son organismos muy sensibles que exigen de un monitoreo constante para evitar cambios bruscos que puedan afectar su salud y rendimiento [4].

Tradicionalmente, el monitoreo y mantenimiento de las condiciones de temperatura y humedad ha sido un proceso manual que requiere de atención constante, lo cual puede resultar en un verdadero desafío cuando no es posible estar físicamente presente para realizar estas actividades. En este contexto, con los avances tecnológicos, la internet de las cosas (IoT) ha emergido una herramienta que permite supervisar y controlar remotamente distintos procesos, por lo que la integración de estos sistemas en la gestión de camas de cría de lombrices puede ofrecer una solución eficiente para garantizar su bienestar y mejorar la producción de humus.

El presente proyecto está desarrollando un sistema basado en IoT que no solo facilite el monitoreo en tiempo real de las variables críticas (temperatura y humedad) en las camas de cría, sino que, a su vez, permita realizar el ajuste necesario de manera inmediata de acuerdo con las necesidades del entorno de las lombrices. Con este enfoque, se espera mejorar tanto la supervivencia de la colonia como la producción de vermicomposta, aprovechando las ventajas de la tecnología IoT para reformar la gestión tradicional de estos anélidos en un proceso automatizado y eficiente [5].

La principal finalidad de este trabajo es la de desarrollar un sistema basado en IoT para el monitoreo y control de variables climatológicas, como temperatura y humedad, en tiempo real, para una cama de cría de lombriz californiana. Se está diseñando una red de sensores para monitorear las variables descritas, así como un sistema IoT para el control de las variables monitoreadas y se instalará la red de sensores en la cama de cría muestra que se estima tenga una superficie aproximada de 1 m² con una profundidad de 30 a 40 cm.

Ya teniendo listo el sistema, se analizará la información obtenida de los sensores en una base de datos para, finalmente, validar el sistema a través de herramientas estadísticas que aún no están definidas.

Por tanto, la pregunta de investigación gira en torno a cómo se puede desarrollar un sistema IoT para el monitoreo y control de variables de temperatura y humedad en una cama de cría de lombriz californiana.

A. AGRICULTURA URBANA Y PERIURBANA

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), para 2050 se prevé que el crecimiento de la población alcanzará aproximadamente los 9.7 billones de personas en todo el mundo, de las cuales el 70 % vivirán en zonas urbanas, en condiciones mayormente de ingresos medios a bajos. Aunado a una crisis agrícola que se enfrenta actualmente por diversas causas y la creciente emergencia a causa del cambio climático, se deben de repensar las distintas formas de producir y distribuir los alimentos [6], [7].

La agricultura urbana y periurbana (AUP) involucra la producción de alimentos y otros productos agrícolas dentro y alrededor de las ciudades, entorno que abarca diversas prácticas, como la jardinería en el hogar, jardinería comunitaria, huertos urbanos, agricultura comercial y el cultivo de alimentos en instituciones [6], [7], [8].

Dentro de los beneficios de la agricultura urbana están una mejor producción (se producen de forma local, reduce costos de transporte y promueve prácticas sostenibles); mejor nutrición (se consumen alimentos de temporada, frescos y nutritivos); medio ambiente (promueve la infraestructura verde, biodiversidad, el reciclaje de recursos contribuyendo a la mitigación del cambio climático) y calidad de vida (genera empleos, apoya medios de vida, fomenta la inclusión social y la convivencia comunitaria) [9], [10].

B. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ORGÁNICOS

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), en el mundo se generan alrededor de 2000 millones de toneladas de residuos por año, donde el 50 % de estos es orgánico. Tan solo en América Latina se generan al-

rededor de 200 millones de toneladas al año, de los cuales 100 son residuos orgánicos biodegradables o que se pueden compostar, sin embargo, solo el 1 % termina en uso para composta [11].

Se prevé que, llevando a cabo distintos programas de compostaje, se pueden recuperar o mejorar hasta 6 millones de hectáreas al año para la agricultura regenerativa, orgánica y para la producción de alimentos sanos [11]. Comúnmente, el abono orgánico proveniente de animales o de desechos orgánicos vegetales de las cocinas es aprovechado para la agricultura urbana [5]. En Bangladesh, la FAO desarrolló un proyecto de 2015 a 2017 en el que se instalaron jardines en techos de las escuelas, en los que se aplicó vermicomposta desarrollada con desechos de cocina para mejorar la composición del suelo y enriquecerlo con nutrientes de manera natural y sin el uso de fertilizantes químicos.

C. BENEFICIOS DE LA VERMICOMPOSTA

La vermicomposta es el producto del proceso de transformación de los desechos orgánicos (biodegradación) en composta rica en nutrientes para la tierra, con la ayuda de las actividades de la vida diaria de la lombriz de tierra, que comúnmente es de la especie *Eisenia fetida* o lombriz californiana, y los microorganismos que se encuentran en el hábitat [12].

Además de mejorar los nutrientes de la tierra, se ha demostrado que la especie *Eisenia fetida* es capaz de acelerar la descomposición de colillas de cigarro, no únicamente desechos orgánicos vegetales. En [13] se destaca que las lombrices californianas pudieron mejorar la tasa de descomposición de las colillas de cigarro hasta en un 6 %.

D. DESAFÍOS DEL MANEJO DE LOMBRIZ CALIFORNIANA EN CLIMAS EXTREMOS

Los climas extremos son todo un desafío para el manejo de lombrices californianas, pues el aumento de las temperaturas y las lluvias irregulares afectan su crecimiento, reproducción y supervivencia, ya sea por inundación o falta de humedad, lo que lleva a una reducción considerable de la población y, por ende, de su producción de humus [14]. En [15] se destaca que los climas extremos inducen cambios en las lombrices de tierra, lo que complica su manejo debido a sus respuestas alteradas al estrés que esto les provoca.

E. SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES

Los sistemas de monitoreo de variables, que son necesarios para rastrear y analizar distintos parámetros de alguna operación dada, utilizan diversas tecnologías cada vez más avanzadas para garantizar la recopilación precisa de datos, la detección de fallas y el análisis de desempeño, lo que mejora la eficiencia y la seguridad de las operaciones [16].

Los sistemas de monitoreo de hábitats se clasifican en esquemas espaciales (mapeo de campo, teledetección, etc.), esquemas no espaciales y cobertura de los hábitats [17].

Los sistemas de control de variables se encuentran en una gran variedad de aplicaciones en diversos campos, incluidos economía, energía, térmica, gestión del tráfico, etc. Estos sistemas se caracterizan por su capacidad de adaptar y modificar condiciones iniciales de un sistema, a través de acciones de control basadas en condiciones o requisitos específicos [18].

Un ejemplo de lo anterior es el ajuste que se hace a un ventilador en función de las mediciones de temperatura que se detectan a través de un sensor, donde el ventilador puede operar diferentes velocidades dependiendo de los límites de temperatura definidos [19], [20].

II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en esta investigación se orienta al diseño y desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo y control en tiempo real de variables críticas de temperatura y humedad en una cama de cría de lombrices de la especie *Eisenia fetida*. El objetivo es mantener un entorno saludable de la colonia para la producción de vermicomposta, mejorando así el ciclo de conversión de desperdicios vegetales en abono orgánico y de alta calidad.

Los pasos metodológicos incluyen el diseño y selección de sensores, la configuración del sistema IoT, el desarrollo de software de monitoreo y la implementación de pruebas de funcionalidad, con el fin de asegurar la efectividad del sistema en condiciones reales de operación.

La [Figura 1](#) presenta el diagrama de la metodología propuesta para el desarrollo de la investigación.

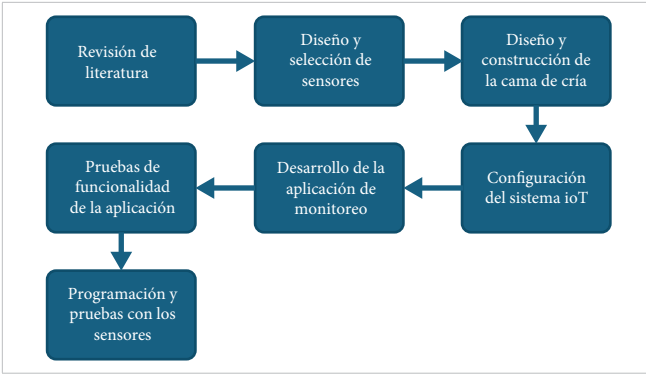


Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo de la investigación.

III. RESULTADOS PRELIMINARES

A. DISEÑO DE LA CAMA DE LOMBRICES

En este caso, la carcasa o cama de cría puede ser cualquier caja que contenga el hábitat. Se asumió como criterio que debe tener suficiente aireación, así como una profundidad mínima de 30 cm, preferentemente de un material aislante y resistente para evitar daños futuros. Para el diseño particular de esta investigación, se pretendía agregar un par de tornillos sinfín que promovieran el movimiento del sustrato y, con ello, la aireación del ambiente, como se muestra en la [Figura 2](#). Sin embargo, se observó que los tornillos serían un elemento que obstaculice la manipulación de la red de sensores, por lo que se decidió removerlos, manteniendo el diseño sin los tornillos.

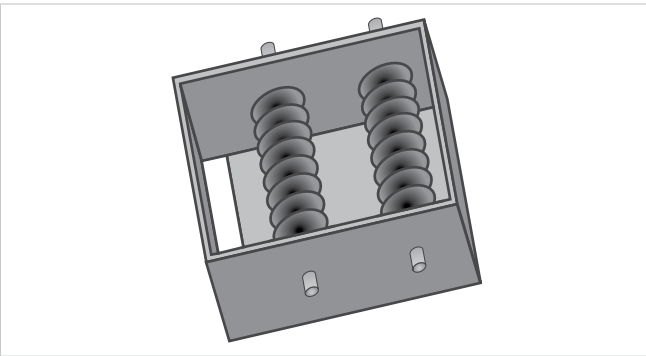


Figura 2. Diseño original de la cama de cría.

Este diseño cuenta también con un espacio por el cual se pueden recolectar los lixiviados de la vermicomposta, que son un producto muy importante de esta, ya que es un concentrado natural de nutrientes para las plantas.

Se pretende distribuir la red de sensores en puntos estratégicos de la cama de cría para tomar mediciones lo

más homogéneas posible. Se emplearán nueve sensores, distribuidos al dividir la caja en una cuadrícula de 3×3 , de manera que cada uno de ellos quede ubicado en el centro de cada sección.

B. DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE VARIABLES

La [Figura 3](#) muestra datos obtenidos al haber aplicado el método multicriterio PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) para la evaluación de cinco alternativas de sensores de temperatura. Ahí se presentan los criterios considerados (costo, conexión, entrega, desempeño eléctrico y medición), junto con los pesos asignados a cada uno de ellos en función de su importancia relativa (0.3, 0.2, 0.2, 0.2 y 0.1, respectivamente).

PROMETHEE							
Criteria Type	Indirect	Direct	Direct	Direct	Direct		
Weight (W _j)	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1		
CRITERIA NAMES							
ALTERNATIVE NAME		Costo	Conexión	Entrega	Eléctrico	Medición	Rank
	S. Temp 1	260	1	2	3	1	2
	S. Temp 2	350	1	2	3	1	1
	S. Temp 3	30000	1	2	2	1	3
	S. Temp 4	752	0	2	1	1	4
	S. Temp 5	1000	0	1	1	1	5
	MAX(x _{ij})	30000	1	2	3	1	
	MIN(x _{ij})	260	0	1	1	0	

Figura 3. Toma de decisión multicriterio sensores.

Los parámetros que adoptados para el análisis de la toma de decisiones fueron *menor costo*; *tipo de conexión* (1 para alámbrica, 0 para inalámbrica); *tiempo de entrega en cantidad de semanas* (2 para menos de 1 y 1 para más de 1 semana); *diseño eléctrico*, contando con la cantidad de hilos para la conexión (3 para 4 hilos, 2 para 3 hilos y 1 para 2 hilos) y *rango de medición*, donde coincidió que todos tienen un amplio rango de medición.

Cada sensor fue evaluado de acuerdo con estos criterios y enseguida se normalizaron los valores utilizando los máximos y mínimos de cada categoría. Finalmente, el método PROMETHEE permitió obtener un *ranking* de desempeño global, donde el sensor S. Temp 2 resultó ser la mejor opción (primer lugar), seguido por S. Temp 1 y S. Temp 3, mientras que S. Temp 4 y S. Temp 5 ocuparon las últimas posiciones. Este análisis multicriterio proporciona una base objetiva para la toma de decisiones en la selección de componentes tecnológicos.

En cuanto a la topología que llevarán los sensores, se optó por la conexión tipo estrella, ya que será más sencillo conectarlos a un Arduino para obtener los datos de temperatura y humedad requeridos.

Asimismo, se determinó la utilización de un microcontrolador de la familia ESP32 para la adquisición, análisis de datos y control del sistema. La elección de este dispositivo se justifica por diversas ventajas: en primer lugar, su capacidad de conexión inalámbrica mediante Wi-Fi y Bluetooth, lo que facilita la comunicación directa con dispositivos móviles para el monitoreo en tiempo real. En segundo lugar, su procesador de alto rendimiento permite manejar múltiples tareas simultáneamente y procesar datos de forma eficiente. Además, el ESP32 ofrece soporte para la integración de una amplia variedad de sensores y módulos, lo que otorga flexibilidad al diseño del sistema. Finalmente, su compatibilidad con librerías de código abierto y plataformas de desarrollo ampliamente utilizadas reduce los tiempos de programación y facilita la implementación de algoritmos de control avanzados. Estas características convierten al ESP32 en una opción idónea para el presente proyecto, al garantizar tanto eficiencia en el procesamiento de datos como escalabilidad en aplicaciones futuras.

La [Figura 4](#) ilustra el funcionamiento del sistema propuesto basado en Internet de las Cosas (IoT). En primer lugar, los sensores instalados en la cama de vermicomposta registran variables críticas como la temperatura y la humedad. Estos datos son adquiridos por el microcontrolador ESP32, que cuenta con conectividad Wi-Fi integrada. Posteriormente, la información se envía a la nube, donde queda disponible para su almacenamiento, visualización y análisis.

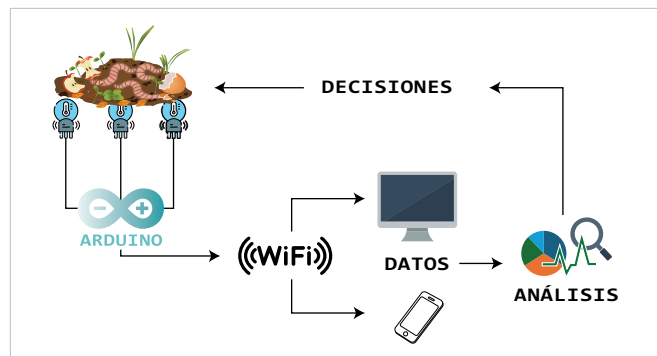


Figura 4. Diagrama de conexiones.

El análisis de los datos permite identificar variaciones en las condiciones del sistema y, a partir de ello, se generan

decisiones orientadas a mantener parámetros óptimos para la salud de la lombriz californiana (*Eisenia fetida*). Dichas decisiones pueden implicar ajustes en la aireación, humedad o temperatura de la cama, garantizando así un entorno adecuado para la producción eficiente de humus y lixiviados. Asimismo, los datos pueden ser consultados en tiempo real mediante dispositivos móviles o computadoras, lo que facilita el monitoreo remoto y el control continuo del proceso.

C. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

Este apartado aún se encuentra en desarrollo, ya que se están probando los sensores, así como la programación de estos para obtener las lecturas correctas en tiempo real, tanto de temperatura como de humedad.

De manera complementaria, el código para la adquisición y análisis de la información proveniente de los sensores se está desarrollando en el entorno de programación Arduino IDE, dado que el sistema emplea un microcontrolador ESP32. Una vez configurados los sensores en su totalidad, el software será validado mediante pruebas funcionales

Asimismo, se está implementando una aplicación basada en Blynk, la cual permite la visualización y el control de los datos en tiempo real. Esta plataforma es compatible con sistemas operativos Windows y MacOS, además de ofrecer acceso mediante dispositivos móviles con Android e iOS. Su interfaz intuitiva y amigable facilita que el usuario pueda obtener la información de manera sencilla, rápida y accesible, favoreciendo así la interacción eficiente con el sistema de monitoreo y control.

D. ESTRATEGIA DE PRUEBAS

La validación del sistema se ejecutará a través de experimentos sencillos para medir los siguientes rubros:

- **Precisión de sensores.** Asegurará que las lecturas estén dentro de un margen de error aceptable,
- **Estabilidad del sistema en tiempo real.** Se ejecutará el sistema por un periodo de tiempo largo, de manera ininterrumpida para verificar frecuencia de errores, inconsistencia en la señal, así como el envío y recepción de datos.

- **Respuesta de cambios al ambiente.** Se simularán cambios bruscos de temperatura y humedad para evaluar la rapidez y precisión con el que el sistema detecta las variaciones generadas para así poder realizar los ajustes necesarios.
- **Comunicación y conectividad.** Se interrumpirá intencionalmente la conexión de red para luego ser restaurada y poder observar la reconexión tanto como que se reanude el envío de datos de manera automática.
- **Acceso y control remoto.** Se llevará a cabo una serie de pruebas de acceso remoto desde diferentes dispositivos electrónicos (teléfonos celulares, computadoras, tabletas, etc.) con el fin de identificar si los usuarios pueden acceder y controlar el sistema sin fallas en la conexión ni errores en la aplicación en los ajustes de los parámetros.
- **Respuesta ante situaciones extremas.** Se simulará una emergencia de sobrecalentamiento o una helada, y se observará si el sistema envía las señales de alerta, activa los controles predefinidos para dicha acción y/o enciende los ventiladores o el sistema de calentamiento.
- **Manejo del usuario final.** Se realiza una prueba con potenciales usuarios finales que simulen un día de operación del sistema, de tal forma que se observe si los usuarios pueden navegar en la interfaz sin confusión, errores y con facilidad.

En consecuencia, las observaciones y datos obtenidos podrán ser evidencia suficiente para validar la funcionalidad y operación del sistema.

E. ANÁLISIS DE DATOS

Se recolectarán los datos obtenidos en bases de datos para poder ser analizados a través de alguna técnica estadística, de acuerdo con cada una de las pruebas. En algunas se utilizará un Diseño de Experimentos para verificar la lectura de variables como temperatura y humedad.

En algunas otras se utilizarán muestreos aleatorios y/o estratificados, dependiendo de la naturaleza de la prueba. Finalmente, cuando los usuarios finales utilicen el sistema, se aplicarán encuestas o cuestionarios a estos

con la finalidad de encontrar las oportunidades de mejora en el sistema.

Una vez obtenida la información será analizada por medio de herramientas de estadística descriptiva, así como análisis de series temporales para los cambios de temperatura y humedad, y algunos gráficos de control con el fin de monitorear la estabilidad del sistema durante periodos prolongados de tiempo en los que esté trabajando sin supervisión.

F. AJUSTE DEL SISTEMA

Una vez que se cuente con la información y el análisis de esta, se realizará una lista de las posibles oportunidades de mejora que se presentaron y se acomodarán por orden de prioridad para realizar las modificaciones pertinentes.

IV. CONCLUSIONES

Debido a que esta es una investigación en desarrollo, se espera que los resultados esperados redunden en los siguientes aspectos. En primer lugar, el sistema debería permitir el monitoreo y ajuste de las variables de temperatura y humedad en tiempo real, asegurando las condiciones óptimas para la cría de lombrices y mejorando con ello la tasa de supervivencia y crecimiento de la colonia. Al mantener un entorno adecuado de crianza, se proyecta maximizar la producción de humus sólido y lixiviado, ambos ricos en nutrientes y de alta calidad, lo que garantiza un abono orgánico libre de químicos para su uso en la agricultura urbana.

De igual forma, gracias al monitoreo remoto y a la capacidad de ajuste automático del sistema, se anticipa una reducción en las horas hombre requeridas para la supervisión constante, optimizando así el uso de recursos y disminuyendo los costos operativos asociados al manejo de la cama de lombrices.

El proyecto también busca demostrar que la vermicompostera constituye una alternativa viable y sostenible para la gestión de residuos orgánicos, contribuyendo a reducir la dependencia de fertilizantes químicos y minimizando el impacto ambiental en entornos urbanos. Finalmente, se prevé que los resultados obtenidos puedan extrapolarse o adaptarse a otros escenarios de agricultura urbana, impulsando prácticas sostenibles de gestión de residuos y fomentando la producción de

fertilizantes naturales a pequeña escala, con beneficios directos en jardines y huertos urbanos.

Es importante destacar que, en las primeras etapas de la investigación, la definición de criterios de selección desempeña un papel clave en la viabilidad y éxito del proyecto. La elección de la caja de cría y de los sensores adecuados, por ejemplo, no solo asegura la confiabilidad de los datos obtenidos, sino que también facilita la integración con el sistema IoT propuesto. Establecer criterios claros desde el inicio permite orientar el diseño experimental hacia resultados más consistentes, garantizar una mejor adaptación tecnológica y optimizar la eficiencia de las pruebas posteriores.

REFERENCIAS

- [1] R. Manchal, T. Venustey S. R. Verma, "Vermicomposting, a key to sustainable agriculture: A review", *Farm. Manage.*, vol. 8, n.º 2, pp. 81-93, dic. 2023, doi: [10.31830/2456-8724.2023.fm-128](https://doi.org/10.31830/2456-8724.2023.fm-128).
- [2] K. Yadav, N. Singh, S. Nayak y S. Kumar, "Sustainable vermicomposting: an eco-friendly approach to boost crop productivity", en *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences*, IIIP Series, 2024, cap. 4. doi: [10.58532/v3bcag16p2ch1](https://doi.org/10.58532/v3bcag16p2ch1).
- [3] V. B. Shalini, A. U. Maheswari, C. Marimuthu y J. Jeshima, "Vermi-Composting using AI in IoT", 2022 *International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC)*, Salem, India, 2022, pp. 1489-1493, doi: [10.1109/ICAAIC53929.2022.9793207](https://doi.org/10.1109/ICAAIC53929.2022.9793207).
- [4] P. Román, M. M. Martínez y A. Pantoja, *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Chile: FAO, 2013.
- [5] V. G. Sonole, Soumya CB, A. Meghana y M. G. Shetty, "Vermicompost: An integral part in urban agriculture", *Int. J. Res. Agron.*, vol. 7, n.º 8, parte B, pp. 89-92, 2024, doi: [10.33545/2618060x.2024.v7.i8b.1191](https://doi.org/10.33545/2618060x.2024.v7.i8b.1191).
- [6] FAO, Rikolto y RUAF, *Urban and peri-urban agriculture sourcebook. From production to food systems*. Roma: FAO and Rikolto, 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.4060/cb9722en>
- [7] "Growing greener cities in Africa", Food and Agriculture Organization, Roma, Italia, First status report on urban and peri-urban horticulture in Africa, 2012. Accedido: en. 11, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.fao.org/4/i3002e/i3002e.pdf>
- [8] "¿Qué es un huerto urbano?". Iberdrola.com. Accedido: oct. 20, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/que-es-un-huerto-urbano>
- [9] I. I. Bashour y A. H. Sayegh, *Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-arid Regions*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.
- [10] FAO, *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Roma: FAO / Madrid: Mundi-Prensa, 2011.
- [11] "Economía Circular de los residuos orgánicos para la ciudad y el campo". One planet. Accedido: oct. 28, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/economia-circular-de-los-residuos-organicos-para-la-ciudad-y-el-campo>
- [12] Q. Abad y S. Shafiqi, "Vermicompost: Significance and Benefits for Agriculture", *J. Res. Appl. Sci. Biotechnol.*, vol. 3, n.º 2, 2024, doi: [10.55544/jrasb.3.2.36](https://doi.org/10.55544/jrasb.3.2.36).
- [13] D. I. Korobushkin, P. G. Garibian, L. A. Pelgunova y A. S. Zaitsev, "The earthworm species *Eisenia fetida* accelerates the decomposition rate of cigarette butts on the soil surface", *Soil Biol. Biochem.*, vol. 151, p. 108022, 2020, doi: [10.1016/j.soilbio.2020.108022](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108022).
- [14] H. Kaka, P. A. Oputey M. S. Maboeta, "Potential Impacts of Climate Change on the Toxicity of Pesticides towards Earthworms", *J. Toxicol.*, vol. 2021, p. 8527991, 2021, doi: [10.1155/2021/8527991](https://doi.org/10.1155/2021/8527991).
- [15] N. Tilikj, M. de la Fuente, A. B. Muñoz, J.-L. Martínez-Guitarte y M. Novo, "Surviving a multistressor world: Gene expression changes in earthworms exposed to heat, desiccation, and chemicals", *Environ Toxicol Pharmacol*, vol. 108, p. 104428, 2024, doi: [10.1016/j.etap.2024.104428](https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104428).
- [16] Sequence indicating monitoring system, por J. Sargent, K. C. Linder y A. I. Goodman. (1996, oct. 11). Patente US3278920A [En línea]. Disponible: <https://patents.google.com/patent/US3278920A>

- [17] S. Lengyel *et al.*, “A review and a framework for the integration of biodiversity monitoring at the habitat level”, *Biodivers. Conserv.*, vol. 17, n.º 14, pp. 3341-3356, 2008, doi: [10.1007/S10531-008-9359-7](https://doi.org/10.1007/S10531-008-9359-7).
- [18] A. Arsenashvili. (2023). Variable Structure Optimal Control Problem for the Economic-Political Systems with Continuous Intermediate Conditions. Presentado en conferencia. [En línea]. doi: [10.55896/978-9941-8-5764-5/2023-225-234](https://doi.org/10.55896/978-9941-8-5764-5/2023-225-234).
- [19] Variable speed blower control for HVAC systems, por D.-K. Hung y R. Hundt, Roger. (2020, oct. 13). Patente US10801765-B2 [En línea]. Disponible: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-10801765-B2>
- [20] Y. Ren *et al.*, “Soil Temperature and Humidity Monitoring System Design for Farm Land Based on ZigBee Communication Technology”, *DEStech Trans. Environ. Energy Earth Sci.*, 2019, doi: [10.12783/DTEES/ICEPE2019/28932](https://doi.org/10.12783/DTEES/ICEPE2019/28932).

RECONOCIMIENTO

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).